



José Manuel Dourado Clemente

Licenciado em Engenharia Civil

**Sinergias BIM-Lean na redução dos tempos de interrupção
de exploração em obras de manutenção de infraestruturas
de elevada utilização – um caso de estudo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Paulo Bilé Serra

Arguente: Prof. Doutor António Tavares Flor

Vogal: Prof. Doutor Nuno Cachadinha



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março de 2012



José Manuel Dourado Clemente

Licenciado em Engenharia Civil

**Sinergias BIM-Lean na redução dos tempos de interrupção
de exploração em obras de manutenção de infraestruturas
de elevada utilização – um caso de estudo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março de 2012

‘Copyright’ José Manuel Dourado Clemente, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esta dissertação de mestrado, resta-me registar os meus sinceros agradecimentos a todos os indivíduos e entidades, que de várias formas contribuíram para a sua realização.

Ao Professor Doutor Nuno Cachadinha, deixo um grande agradecimento pelo seu apoio, a sua disponibilidade, partilha de conhecimentos, estímulo, exigência e confiança que depositou em mim para elaborar este trabalho.

Ao Engenheiro Álvaro Sardinha pela oferta do curso de *Autodesk® Revit® Fundamental*, sem o qual não teria sido possível realizar esta dissertação. Ao Engenheiro António Soares por todo o apoio e disponibilidade demonstrada durante o decorrer dos trabalhos.

Às empresas que disponibilizaram o seu tempo que possibilitou a realização do caso de estudo apresentado, com principal destaque aos seus directores que foram da maior importância, pois sem a sua disponibilidade não seria possível realizar este estudo.

Aos operários pela sua colaboração e tempo despendido na partilha de informação e empenho em manter um modelo actualizado, e disponibilidade e estímulo no estudo implementado.

Os meus colegas de trabalho, pela excelente relação pessoal que estabelecemos, espírito de camaradagem, e partilha de conhecimentos e experiências. Deixo um especial agradecimento ao Paulo Taborda, pela verdadeira cooperação e ajuda.

Aos meus amigos e familiares pela amizade e ajuda ao longo de todo o percurso académico e todos os bons momentos que me proporcionaram e claro à Lara por ser a minha inspiração e apoio.

Por fim mas de uma forma muito reconhecida, aos meus Pais, à minha irmã e aos meus Avós, pela compreensão, carinho e modo como me incentivaram em todos os momentos da minha vida.

RESUMO

A indústria da arquitectura, engenharia e construção (AEC) tem sido vítima, nos últimos anos, do seu deficiente desempenho, apesar de sucessivas tentativas para encontrar novas técnicas que permitam diminuir os custos de projecto, aumentar a produtividade e qualidade, e reduzir o tempo de entrega do projecto. A principal causa para este fraco desempenho é a dificuldade de visualizar o fluxo de produção, e a transmissão deficiente de informação entre todos os envolvidos num projecto de construção.

A utilização de modelos 3D é crucial para a implementação dos princípios Lean, já que permite otimizar a visualização do processo e dá suporte quer ao planeamento quer à coordenação das actividades. Além disso, está disponível para todos os intervenientes no processo.

Este trabalho apresenta o uso de ferramentas BIM e técnicas Lean para a coordenação de sistemas MEP num projecto de manutenção de uma gare ferroviária. As intervenções ao nível dos sistemas MEP em infraestruturas de elevada utilização são projectos tecnicamente desafiantes e por vezes extremamente complexos. Muitas vezes exigem ainda o acesso a áreas sensíveis por pessoas estranhas ao serviço, levantando problemas de segurança. O caso de estudo retratado neste trabalho consiste em obras de intervenção numa área comum, numa instalação com um tráfego de utentes de cerca de 25000 por dia útil, sem interrupção do serviço normal. Este estudo inclui a identificação de sinergias BIM-Lean e a sua utilização para definir a base para o desenvolvimento de um processo de coordenação de equipas, combinando ferramentas BIM com técnicas Lean, permitindo garantir a convergência de interesses de todos os envolvidos no projecto, de forma à sua concretização de acordo com a programação desejada.

Alguns dos benefícios que as equipas alcançaram através da aplicação de uma gestão integrada BIM-LEAN incluem melhorias significativas no fluxo de trabalho na ordem dos 25% para as duas equipas, e uma redução das actividades sem valor acrescentado de cerca de 30%, e um aumento significativo da qualidade e empenho nos trabalhos pelos trabalhadores. Os resultados demonstram como uma abordagem combinada BIM-LEAN pode melhorar o fluxo de trabalho e reduzir o desperdício neste caso de obras.

Termos chave: *Building Information Modeling, Lean Construction*, Sistemas MEP, Sinergias BIM-Lean, Mapeamento de Fluxo e Valor, Trabalho Colaborativo

ABSTRACT

The Architecture, Engineering and Construction (AEC) industries have been victims of poor performances in the last recent years, regardless of their struggle to find new techniques capable of decreasing project costs, increasing productivity and quality, and reducing project delivery time. The main cause for these weak performances is the difficulty to visualize the production flow, and the deficient information transmission between the different stakeholders involved in a construction project.

The use of 3D models is crucial for a better implementation of Lean principles as it optimizes the visualization of the process and supports the planning and coordination activities. Besides, it is available to all.

This work presents the use of BIM tools and Lean techniques for the coordination of MEP systems on a train station renovation project. Maintenance and renovation works at the level of MEP systems in intensively used infrastructures are technically challenging and sometimes very complex. They also cause security issues, as access to sensitive areas needs to be granted to a larger number of unfamiliar workers. The case study portrayed in this article consists of works in a common area beyond the sight of the public, in a facility with a daily users' traffic of around 25000. This study included the identification of BIM-LEAN synergies and their utilization to set the foundation for the development of a team coordination process combining BIM tools and Lean techniques. This achieved the alignment of the contractual interests of all the stakeholders, aiming at meeting the overall project schedule.

Some of the benefits that the project team achieved by using combined BIM-LEAN techniques include improvements in the production flow by 25% for each work team, and a reduction of non-value added activities of around 30%, and a consequent increase in the works quality and commitment of workers to the project. The results show how a combined BIM-LEAN approach can improve workflow and reduce waste in this kind of projects.

Keywords: Building Information Modeling, Lean Construction, MEP Systems, BIM-Lean Synergies, Value Stream Mapping, Collaboration in Construction

GLOSSÁRIO

5S

Uma abordagem disciplinada para manter a ordem no local de trabalho, usando o controlo visual, para eliminar desperdícios.

Actividade

Um segmento de trabalho com pré-requisitos conhecidos para o seu início e um estado reconhecido de conclusão.

Batch

Acumulação de trabalho produzido por uma especialidade ou equipa.

Building Information Modeling (BIM)

BIM é um verbo ou adjectivo para descrever as ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas pela documentação digital processada por computador sobre um edifício, a sua performance, o seu planeamento, a sua construção e posteriormente a sua operação. Portanto BIM descreve uma actividade e não um objecto. Para descrever o resultado da actividade de modelação, utiliza-se o termo modelo BIM.

Ciclo de vida dos Edifícios

Refere-se à visualização de uma instalação ao longo de toda a sua vida, isto é, vendo não só a sua fase de operação mas sim a concepção, o projecto, a construção, a operação e a demolição.

Ferramenta BIM

Uma aplicação de *software* que manipula um modelo de construção com algum propósito definido e produz um resultado específico. Por exemplo: ferramentas de modelação, de detecção de conflitos, de estimativas de custo, etc.

Fluxo

Contempla todo o processo ininterrupto de transformação da matéria prima no produto final.

Gestão visual

Colocar as actividades de produção, os planos, os programas, as medidas e indicadores de desempenho à vista de todos. Isto assegura que o estado do sistema pode ser analisado e entendido rapidamente por todos os envolvidos e as medidas de optimização tomadas a nível local de acordo com os objectivos do sistema.

Integrated Project Delivery (IPD)

É uma abordagem de entrega do projecto que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas num processo colaborativo, que aproveita os talentos e ideias de todos os participantes para opti-

mizar os resultados do projecto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases do projecto e construção

Interoperabilidade

A habilidade das ferramentas BIM de vários representantes diferentes serem capazes de trocar e trabalhar sobre os modelos BIM. A interoperabilidade é um requerimento para o trabalho colaborativo e a partilha de dados entre diversas plataformas BIM.

Just-In-Time (JIT)

Um sistema de produção que entrega a quantidade certa de produto no momento em que é necessário para a produção.

Kaizen

Palavra de origem Japonesa com o significado de melhoria continua.

KanBIM™

O KanBIM é um software experimental desenvolvido no laboratório de Construção Virtual no Technion, tem como função gerir a construção no local da obra. O sistema é baseado em princípios da *Lean Construction* e contém duas partes principais: um módulo de planeamento de tarefas e um módulo de gestão do trabalho. O módulo de gestão do trabalho destina-se a dar ao dono de obra e aos líderes de equipas uma imagem clara e actualizada do estado da obra, incluindo a visualização das actividades de todas as equipas e um índice de maturidade das actividades futuras, em função do estado actual das condicionantes (disponibilidade de recursos, estado do projecto, conclusão das actividades precedentes, limpeza dos espaços, etc.).

Last Planner System (LPS)

É uma forma de tratar as operações de planeamento e de controlo a curto prazo. O seu objectivo é assegurar, através de diversos procedimentos e ferramentas, que todos os pré-requisitos e condicionamentos para uma dada actividade foram verificados antes de se iniciar a mesma de forma a permitir que esta seja cumprida sem perturbações e concluída de acordo com o planeado.

Layer

As *layer* são superfícies imaginárias criadas dentro de um desenho de CAD com o objectivo de organizar e controlar a visibilidade de elementos.

Modelo BIM

Um modelo BIM é uma representação paramétrica digital da instalação, da qual se podem extrair e analisar vistas apropriadas para vários utilizadores de forma a melhorar a concepção da instalação, analisar o seu desempenho, planeamento, construção e posteriormente a sua operação. Um modelo *Revit®* de uma instalação é um exemplo de um destes modelos.

Object-based Modeling

Tecnologia na qual os aplicativos de modelação BIM se baseiam. Inclui a capacidade de definir objectos individuais, cuja forma e propriedades podem ser controladas parametricamente.

Objectos paramétricos

Objectos que não incluem apenas o aspecto visual do edifício que representam, mas contemplam também propriedades (ou comportamentos) dos sólidos que representam, comprimento, largura, profundidade, posição e orientação, tolerâncias geométricas, propriedades dos materiais, etc.

Processo BIM

Processo que depende da informação gerada por uma ferramenta de projecto BIM para análise, fabricação, estimativa de custo, planeamento e outros fins.

Projecto

O termo projecto, quando utilizado individualmente, refere-se ao projecto de construção, isto é, a concepção e construção de um empreendimento. Quando é utilizado como referência à especialidade de projecto, é utilizado em conjunto com a designação da especialidade, por exemplo, projecto de estruturas.

Work-in-progress

O inventário entre os pontos de início e de fim de um processo de produção.

Workflow

Movimento de informações e materiais através de redes interdependentes.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

2D – duas dimensões

3D – três dimensões

4D – 3D + tempo

5D – 3D + tempo + custos

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AECO – Arquitectos, Engenheiros, Construtores e Operadores

AECOPS – Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas e Serviços

AIA – American Institute of Architects

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BDS – Building Description System

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer-Aided Design

FIC – Facilities Information Council

gbXML - Green Building Extensible Markup Language

GSA – General Services Administration

IAI – International Alliance for Interoperability

IFC - Industry Foundation Class

IGLC – International Group of Lean Construction

IPD – Integrated Project Delivery

JIT – Just In Time

LC – Lean Construction

LCI – Lean Construction Institute

LP – Lean Production

LPS – Last Planner System

LT – Lean Thinking

MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing

MFV – Mapeamento Fluxo e Valor

NBIMS – National BIM Standard

NIBS - National Institute of Building Sciences

NIST - National Institute of Standards and Technology

OOCAD – Object Oriented CAD

TFV – Transformação Fluxo e Valor

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TPS – Toyota Production System

VDC – Virtual Design and Construction

VSM – Value Stream Mapping

WIP – Work In Progress

WWP – Weekly Work Plan

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. HIPÓTESE DE ESTUDO..... | 1 |
| 1.2. JUSTIFICAÇÃO | 1 |
| 1.3. OBJECTIVO | 3 |
| 1.4. DEFINIÇÃO DE BIM..... | 4 |
| 1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 4 |
| 2. ESTADO DO CONHECIMENTO..... | 5 |
| 2.1. COMPETITIVIDADE E INCUMPRIMENTOS DAS FUNÇÕES DE GESTÃO NA CONSTRUÇÃO | 5 |
| 2.1.1. <i>Panorama Internacional</i> | 5 |
| 2.1.2. <i>Panorama Português</i> | 6 |
| 2.2. INTRODUÇÃO AO BIM..... | 7 |
| 2.2.1. <i>CAD – Desenho assistido por computador</i> | 9 |
| 2.2.2. <i>Sistemas Orientados ao Objecto CAD (OOCAD)</i> | 10 |
| 2.2.3. <i>O BIM</i> | 10 |
| 2.2.4. <i>Definição do BIM</i> | 11 |
| 2.2.5. <i>BIM – processo colaborativo, coordenativo, normativo e a interoperabilidade</i> | 13 |
| 2.2.6. <i>BIM e o ciclo de vida dos edifícios</i> | 14 |
| 2.2.7. <i>Benefícios da implementação BIM</i> | 15 |
| 2.3. INTEGRATED PROJECT DELIVERY | 21 |
| 2.4. UTILIZAÇÃO DE BIM NA FASE DE CONSTRUÇÃO | 22 |
| 2.4.1. <i>Fase de planeamento</i> | 22 |
| 2.4.2. <i>Na fase de construção</i> | 23 |
| 2.4.3. <i>Inconsistência da informação</i> | 23 |
| 2.5. FILOSOFIA <i>LEAN</i> | 23 |
| 2.5.1. <i>Lean Production</i> | 23 |
| 2.5.2. <i>Natureza singular da construção</i> | 25 |
| 2.5.3. <i>Lean Construction</i> | 26 |
| 2.5.4. <i>Transformação, Fluxo e Valor</i> | 29 |
| 2.5.5. <i>Mapeamento de Fluxo e Valor – MFV (value stream mapping)</i> | 29 |
| 2.5.6. <i>Kaizen</i> | 30 |
| 2.5.7. <i>5 S</i> | 30 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.8. | <i>Produção celular</i> | 31 |
| 2.5.9. | <i>Last Planner System (LPS)</i> | 31 |
| 2.5.10. | <i>Reuniões diárias com trabalhadores</i> | 32 |
| 2.6. | SINERGIAS BIM-LEAN | 33 |
| 2.6.1. | <i>Análise das interligações entre Lean e BIM</i> | 34 |
| 2.6.2. | <i>Sinergias BIM-Lean na gestão da Construção</i> | 39 |
| 2.7. | RESUMO DE ALGUNS CASOS DE ESTUDO | 40 |
| 2.7.1. | <i>Flint, MI – General Motors Production Plant</i> | 40 |
| 2.7.2. | <i>Mountain View, CA – Camino Medical Group Office Building Complex</i> | 42 |
| 3. | METODOLOGIA | 47 |
| 3.1. | ANÁLISE GERAL DA METODOLOGIA | 47 |
| 3.2. | DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 47 |
| 3.3. | METODOLOGIA DE RECOLHA DE DADOS | 48 |
| 3.3.1. | <i>Observação directa</i> | 48 |
| 3.3.2. | <i>Diálogos</i> | 48 |
| 3.3.3. | <i>Análise documental</i> | 48 |
| 3.4. | ELABORAÇÃO DO MODELO BIM | 49 |
| 3.5. | ANÁLISE DO MODELO BIM | 49 |
| 3.6. | ANÁLISE DAS SINERGIAS BIM-LEAN POSSÍVEIS | 49 |
| 3.7. | ANÁLISE VSM | 49 |
| 3.7.1. | <i>Elaboração do VSM do estado actual</i> | 49 |
| 3.7.2. | <i>Optimização do processo de criação de valor</i> | 49 |
| 3.7.3. | <i>Elaboração do VSM do estado futuro</i> | 50 |
| 3.7.4. | <i>Análise de implementação do VSM futuro</i> | 50 |
| 3.8. | ANÁLISE DE RESULTADOS | 50 |
| 4. | RESULTADOS | 51 |
| 4.1. | DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 51 |
| 4.2. | PROCESSO DE TRABALHO | 52 |
| 4.2.1. | <i>Criando o modelo BIM</i> | 52 |
| 4.2.2. | <i>Fluxo de informação</i> | 53 |
| 4.2.3. | <i>Planeamento do trabalho</i> | 53 |
| 4.2.4. | <i>Planeamento do tempo</i> | 54 |
| 4.2.5. | <i>Utilização do modelo na obra</i> | 54 |
| 4.2.6. | <i>Coordenação na obra</i> | 55 |
| 4.2.7. | <i>Planeamento na obra</i> | 55 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.8. Logística..... | 56 |
| 4.3. PROBLEMAS E BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE BIM | 57 |
| 4.3.1. Problemas | 57 |
| 4.3.2. Benefícios..... | 58 |
| 4.4. ANÁLISE DE SINERGIAS BIM-LEAN | 59 |
| 4.5. ANÁLISE VSM | 65 |
| 4.5.1. Escolha do processo que se pretende melhorar | 65 |
| 4.5.2. Mapeamento do estado actual do processo..... | 66 |
| 4.5.3. Optimização do processo de criação de valor..... | 68 |
| 4.5.4. Mapeamento do estado futuro do processo | 76 |
| 4.5.5. Análise de implementação do estado futuro | 78 |
| 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS | 83 |
| 5.1. CASO DE ESTUDO | 83 |
| 5.1.1. Criando o modelo | 83 |
| 5.1.2. Fluxo de informação..... | 83 |
| 5.1.3. Planeamento do trabalho..... | 84 |
| 5.1.4. Utilização do modelo na obra | 85 |
| 5.2. SINERGIAS BIM-LEAN NO CASO DE ESTUDO | 87 |
| 5.3. ANÁLISE GERAL | 91 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 95 |
| 6.1. COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO ACTUAL E BIM..... | 96 |
| 6.2. PROPOSTA DE MÉTODO DE IMPLEMENTAÇÃO EM OBRAS DE MANUTENÇÃO | 97 |
| 6.3. LIMITAÇÕES DO ESTUDO | 98 |
| 6.4. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 99 |
| 7. BIBLIOGRAFIA..... | 101 |
| ANEXOS..... | 107 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 2.1 - Princípios <i>Lean</i> (adaptado Sacks <i>et al.</i> (2009)) | 37 |
| Quadro 2.2 - Funcionalidades BIM (adaptado de Sacks <i>et al.</i> (2009))..... | 39 |
| Quadro 4.1 – MFV do estado actual da equipa A | 66 |
| Quadro 4.2 – MFV do estado actual da equipa B | 67 |
| Quadro 4.3 - VSM do estado futuro da equipa A | 77 |
| Quadro 4.4 - VSM do estado futuro da equipa B..... | 77 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - BIM no Mundo (adaptado de WSPGroup for BIM, (2011))..... | 9 |
| Figura 2.2 - Processo de troca de informação na fase de obra (adaptado de Taylor, (2007))..... | 11 |
| Figura 2.3 - Modelo BIM: desenho 3D, plantas, alçados, e fluxo de informação (adaptado de Barrington, (2010) "A Guide to BIM") | 12 |
| Figura 2.4 - Projecto Colaborativo (adaptado de NormaBIM, (2007))..... | 13 |
| Figura 2.5 – Ciclo de vida do edifício (adaptado Autodesk (2009))..... | 16 |
| Figura 2.6 - BIM como resposta às pressões da construção nos dias de hoje (adaptado de Eastman <i>et al.</i> , (2011)) | 17 |
| Figura 2.7 - Esquema MFV | 30 |
| Figura 2.8 - Ciclo <i>Kaizen</i> | 30 |
| Figura 2.9 - Last Planner System é um sistema <i>Pull</i> | 32 |
| Figura 2.10 - Fluxograma do processo do LPS (adaptado Ballard, (2000))..... | 32 |
| Figura 2.11 - Mapa de processo adoptado..... | 41 |
| Figura 2.12 - Mapa de processo utilizado no <i>Camino MOB</i> | 43 |
| Figura 2.13 - Esquema de implementação BIM no <i>Camino MOB</i> | 44 |
| Figura 4.1 - Imagem 3D da gare ferroviária..... | 51 |
| Figura 4.2 – Corte AA da área dos escritórios | 52 |
| Figura 4.3 - Metodologia seguida para criar o modelo | 53 |
| Figura 4.4 - Imagem 3D com infraestruturas à vista | 54 |
| Figura 4.5 - Imagem 3D sem infraestruturas à vista | 54 |
| Figura 4.6 - Imagem 3D de infraestruturas | 54 |
| Figura 4.7 - Imagem 3D com cablagem da equipa A assinalada (cor verde)..... | 55 |
| Figura 4.8 - Imagem 3D com caminhos de cabos assinalados | 55 |
| Figura 4.9 - Imagem 3D de caminhos de cabos | 56 |
| Figura 4.10 - Planta de levantamento de condicionantes | 56 |
| Figura 4.11 - Menu para criar filtros no <i>Revit®</i> | 57 |
| Figura 4.12 - Perspectiva 3D de parte da rede de cablagem da infraestrutura | 57 |
| Figura 4.13 - Perspectiva 3D de parte da estrutura da infraestrutura | 57 |
| Figura 4.14 - Imagem 3D do comando <i>walkthrough</i> | 60 |
| Figura 4.15 - Funcionalidades BIM versus princípios <i>Lean</i> | 61 |
| Figura 4.16 - Funcionalidades BIM versus princípios <i>Lean</i> | 62 |
| Figura 4.17 - Funcionalidades BIM versus princípios <i>Lean</i> | 63 |
| Figura 4.18 - Funcionalidades BIM versus princípios <i>Lean</i> | 63 |
| Figura 4.19 - Controlo do andamento dos trabalhos no <i>Revit®</i> | 64 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.20 - Funcionalidades BIM versus princípios <i>Lean</i> | 64 |
| Figura 4.21 - Diagrama de aplicação das funcionalidades BIM nas diferentes fases da obra..... | 65 |
| Figura 4.22 - MFV do estado actual da equipa A..... | 67 |
| Figura 4.23 - MFV do estado actual da equipa B..... | 67 |
| Figura 4.24 - Esquema de monitorização realizada na equipa A | 69 |
| Figura 4.25 - Esquema de monitorização realizada na equipa B..... | 69 |
| Figura 4.26 - Esquema de metodologia BIM- <i>Lean</i> aplicada na actividade "enquadramento de equipas" | 71 |
| Figura 4.27 - Esquema de metodologia BIM- <i>Lean</i> implementada na actividade "identificação de caminhos de cabos" | 73 |
| Figura 4.28 - Esquema de metodologia BIM- <i>Lean</i> implementada na actividade "passagem de cablagem" | 76 |
| Figura 4.29 - MFV do estado futuro da equipa A..... | 78 |
| Figura 4.30 - MFV do estado futuro da equipa B..... | 78 |
| Figura 4.31 - Metodologia de implementação das melhorias..... | 79 |
| Figura 4.32 - Metodologia de implementação das melhorias..... | 80 |
| Figura 4.33 - Metodologia de implementação das melhorias..... | 80 |
| Figura 4.34 - Metodologia de implementação das melhorias..... | 81 |
| Figura 4.35 - Metodologia de implementação das melhorias..... | 82 |
| Figura 5.1 - Planta de áreas relevantes a cada uma das equipas..... | 84 |
| Figura 5.2 - Imagem 3D com condutas à vista | 84 |
| Figura 5.3 - Imagem 3D com infraestruturas à vista | 85 |
| Figura 5.4 - Imagem 3D sem infraestruturas à vista..... | 85 |
| Figura 5.5 - Imagem 3D da infraestrutura com caminhos de cabos à vista..... | 86 |
| Figura 5.6 - Gráfico da actividade: enquadramento das equipas..... | 87 |
| Figura 5.7 - Gráfico do rendimento da actividade "abertura de tectos-falsos" | 89 |
| Figura 5.8 - Gráfico da percentagem de actividades que não acrescentam valor..... | 89 |
| Figura 5.9 - Gráfico do rendimento da actividade: cablagem lançada | 91 |
| Figura 5.10 - Gráfico da comparação das durações antes e depois de implementadas melhorias..... | 93 |
| Figura 6.1 - Fluxo de processo BIM em projectos onde a empresa contratada modela modelos BIM a partir de desenhos 2D (adaptado de Eastman <i>et al.</i> , (2011)) | 96 |
| Figura 6.2 - Processo tradicional em comparação com processo IPD, de entregas de projectos de construção por empresas contratadas (adaptado Eastman <i>et al.</i> , (2011)) | 97 |
| Figura 6.3 - Esquema proposto de utilização do modelo BIM em obra | 98 |

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção apresentou, por muito tempo, características duma actividade artesanal, na medida em que não explorava as técnicas que permitiram o progresso dos outros sectores industriais e possibilitaram aumentos significativos de produtividade, eficiência e eficácia.

Estes e outros factores implicaram que as empresas de construção apresentassem uma estrutura de produção ineficaz. Estatísticas do *Construction Industry Institute* Americano, situado na Universidade de Texas, revelam que as actividades de valor não acrescentado na construção representam 62% do total de actividades (Yang e Wang, 2010).

O relatório de Egan (1998) revela que 30% das actividades de construção são o trabalho repetido, que 40% dos recursos humanos e pelo menos 10% dos materiais utilizados nas actividades de construção são desperdiçados e ainda que 40% dos projectos são concluídos tarde e ultrapassam o orçamento base.

O relatório da *SmartMarket* de 2009 indica que durante o ciclo de vida de um edifício, cerca de 2 a 7% são gastos em concepção e projecto, 10 a 15% são gastos em construção e execução de obra e o restante, cerca de 65 a 80%, são gastos em exploração e manutenção (Young *et al.*, 2009).

É neste paradigma que surge a necessidade de industrializar a construção, ou seja, que a actividade da construção se torne cada vez mais num projecto integrado orientado por metodologias de trabalho em que prevalece o planeamento e a organização. A gestão da construção necessita, de um controlo eficaz do fluxo da produção, desde o programa base ao processo de construção, ou seja, um controlo permanente do estado do processo, das quantidades produzidas, da qualidade do produto, dos prazos de execução, dos custos e do desperdício.

1.1. HIPÓTESE DE ESTUDO

O objectivo desta tese numa primeira fase é de analisar as sinergias entre a *Lean Construction* (LC) e o *Building Information Modeling* (BIM). Numa segunda fase irá analisar-se a adequabilidade e benefícios que uma gestão integrada, combinando ferramentas BIM com técnicas LEAN, pode introduzir em obras de intervenção em espaços públicos de grande utilização.

1.2. JUSTIFICAÇÃO

Há cerca de 70 anos, verificou-se uma das grandes conquistas do Mundo da construção – a construção do *Empire State Building* foi concluída num ano e quarenta e cinco dias (VICO SOFTWARE, 2008). A construção foi um modelo de eficiência, com base nos princípios emergentes do industrialismo, linhas de montagem e divisão de trabalho. Para manter o planeamento leve e optimizado, as secções de aço e os revestimentos em pedra foram preparados fora do local, em seguida, entregues prontos a serem inseridos no lugar pelos trabalhadores. Apesar do projecto ter sido considerado

muito seguro e complexo para a época, seis trabalhadores morreram. Existiam cerca de 3500 trabalhadores no local ao mesmo tempo, os almoços eram distribuídos por vários andares, pois teria sido impossível conseguir que todos os trabalhadores descessem e subissem em tempo útil para a sua pausa de almoço (Empire State Building, 2012).

Hoje em dia, poucas empresas de construção estariam dispostas, ou mesmo poderiam, comprometer-se a construir um edifício de tal magnitude num tão curto espaço de tempo. A falta de rigor, controlo e perfeccionismo na construção cada vez é mais difícil de controlar, os prazos são constantemente ultrapassados, resultando em custos extras para o cliente.

O sector da construção civil representa 4,9% do produto interno bruto de Portugal, proporcionando um elevado número de postos de trabalho (Portugal, 2009).

Os últimos anos vieram confirmar o que mais se temia: a indústria da construção portuguesa tem uma doença crónica – a falta de competitividade (Couto e Teixeira, 2006). Desde há muito tempo que se reconheciam os sintomas em muitas obras: prazos ultrapassados, orçamentos excedidos, segurança deficiente e qualidade ausente (Couto e Teixeira, 2006). O incumprimento dos prazos e o acréscimo do custo total das obras são dois dos problemas mais preocupantes da construção portuguesa. As consequências são severas e põem em causa não só a credibilidade dos profissionais da construção como também a imagem do nosso país neste sector (AECOPS, 2006). Segundo o Tribunal Contas (2009), Couto e Teixeira (2006) - Moura e Teixeira (2007), as causas dos atrasos e derrapagens nos orçamentos dos trabalhos de construção são:

- projectistas apoiam-se em projectos base apresentados pelo dono de obra incompletos e sujeitos a diversas interpretações, critérios de adjudicação muito ambíguos e subjectivos;
- erros, omissões e ambiguidades persistentes nos projectos;
- programas preliminares mal estruturados e definidos pelos donos de obra;
- utilização recorrente a mão-de-obra pouco qualificada;
- elevada dificuldade na gestão e coordenação de alguns empreiteiros;
- descoordenação dos vários intervenientes desde a fase de decisão até à construção;
- ordens de alteração directas emanadas do dono de obra;
- falta de disponibilidade no terreno, ordem tardia para prosseguir e tempos de espera elevados;
- falha na cadeia lógica.

O Tribunal Contas (2009) recomenda que os donos de obra invistam na melhoria da qualidade dos projectos, ao nível da sua coerência e da pormenorização das soluções apresentadas, assim como no rigor das suas especificações e na definição e quantificação da natureza dos respectivos trabalhos.

Para o efeito, devem promover a revisão dos projectos, através de uma equipa de técnicos independentes e de reconhecida competência, revisão essa que deve acontecer antes do lançamento do concurso. Esta medida além de salvaguardar a qualidade dos projectos, garante um controlo mais eficaz de custos e de prazos.

Tendo em conta o cenário actual, importa esclarecer e reflectir sobre os problemas inerentes à construção em Portugal. Eastman *et al.* (2011) asseguram que o desenvolvimento de metodologias para a gestão e controlo desta actividade, podem ajudar a eliminar incumprimentos de prazos e custos excedidos, garantir um fluxo adequado de informação fiável ao longo de todo o processo, contribuindo assim para a melhoria da produtividade e qualidade na construção, tornando o sector necessariamente mais competitivo.

A *Lean Construction* e a *Building Information Modeling* proporcionam mudanças fundamentais na arquitectura, engenharia e construção (AEC). Apesar de serem conceitos diferentes e separados, parece haver sinergias entre eles. O BIM, como processo tem características que são fundamentais na eliminação de desperdícios na construção, estimula a implementação dos princípios da LC e oferece características que promovem maior fluxo no trabalho (Sacks *et al.*, 2009). Quando implementado adequadamente, o BIM facilita uma melhor integração dos projectos e processos de construção que resultam em edifícios com melhor qualidade a preços e durações reduzidas (Sacks *et al.*, 2009).

Nos dias de hoje é essencial controlar os custos, eliminar o desperdício e garantir a qualidade de execução de projectos e obras. Por estas razões é de extrema importância analisar os benefícios que a LC e a BIM podem introduzir na redução dos prazos de execução de obras de construção.

1.3. OBJECTIVO

O objectivo desta tese é de analisar a adequabilidade e benefícios que as sinergias entre a LC e o BIM podem introduzir em obras de intervenção em espaços públicos de grande utilização.

Numa primeira fase será realizada uma descrição exaustiva sobre o BIM e a LC e analisadas as sinergias entre elas. Numa segunda fase será realizada uma análise dos processos construtivos actuais utilizados pelas empresas envolvidas no caso de estudo, identificando todas as metodologias existentes e modos de funcionamento. Numa terceira fase será identificado o desperdício existente nos processos utilizados, determinando quais aqueles que causam maiores atrasos na obra. Por fim, recorrendo à LC e a ferramentas BIM, será analisado se é possível reduzir o desperdício e os prazos de execução neste tipo de obras e de que forma as ferramentas BIM podem ajudar a materializar os princípios *Lean* em obra.

Durante a primeira fase foi compilado um modelo BIM do caso de estudo, sendo que o *software* utilizado foi o Autodesk® Revit®. Este modelo BIM serviu para gerar um suporte visual 3D do local de intervenção e automatizar a informação necessária à obra, tornando assim possível identificar-se detalhadamente as várias restrições existentes no local, detectar eventuais colisões e conflitos e simular as diferentes possibilidades em obra.

A aplicação integrada da filosofia *Lean* com ferramentas BIM tem demonstrado bons resultados à escala mundial, pretendendo-se analisar os resultados da aplicação conjunta destas duas metodologias numa obra de intervenção em curso, numa Gare Ferroviária.

1.4. DEFINIÇÃO DE BIM

Este parágrafo explica a forma como o termo BIM é utilizado nesta dissertação.

A definição adoptada para o termo BIM é a emitida pela *General Service Administration* (GSA) nos EUA.

A General Services Administration (GSA) (2007) define “*Building Information Modeling é o desenvolvimento e utilização de software específico de modelação de dados não apenas para documentar um projecto de um edifício, mas para simular a construção e operação de uma nova instalação, ou modernizar uma existente. O modelo BIM resultante é uma representação paramétrica digital da instalação, da qual se podem extrair e analisar vistas apropriadas para vários utilizadores de forma a melhorar a concepção da instalação*”.

Nesta dissertação quando BIM é mencionado, refere-se à actividade *Building Information Modeling*, para referir um *Building Information model* o termo modelo BIM é utilizado.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No que se refere à estrutura da dissertação, esta encontra-se dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde é definida a hipótese de estudo, os objetivos e a sua justificação.

No segundo capítulo procedeu-se a uma revisão bibliográfica relativa aos conceitos BIM e da LC.

No terceiro capítulo é definida a metodologia para recolha e análise de dados.

O quarto capítulo corresponde à discussão dos resultados e à descrição do caso de estudo.

No quinto capítulo procede-se à análise dos resultados. São descritos os benefícios que advêm da aplicabilidade destas duas metodologias neste tipo de obras.

O sexto capítulo contempla a conclusão, as limitações do estudo e futuros campos de pesquisa.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

Neste capítulo, serão analisadas bases e conceitos para a compreensão dos dois princípios em estudo nesta dissertação. É importante notar que estes são dois princípios distintos e cada um deles está numa fase exponencial do seu crescimento no sector da construção civil. A revisão bibliográfica foi efectuada sobretudo nos temas BIM e *Lean*, descrevendo os aspectos em que se baseiam para uma futura aplicação conjunta em obra e ainda de que forma o BIM contribui para implementação dos princípios *Lean*.

A LC é uma forma de desenhar o sistema de produção de forma a minimizar o desperdício de materiais, o tempo e o esforço com vista a aumentar o valor do produto final (Abdelhamid e Salem, 2005). A ideia base é produzir mais e com mais valor para o consumidor, com menos recursos e desperdício (Womack, 2008).

BIM é o desenvolvimento e utilização de um modelo de informação de um edifício gerado por *software* específico, não só para documentar um projecto de construção, mas para simular a construção e operação desse novo edifício ou modernizar um existente. O modelo BIM resultante, é uma representação digital de dados do edifício, baseada em objectos inteligentes e paramétricos, os quais permitem extrair e analisar informação para melhorar o edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida (Arsenault, 2009).

Sendo o BIM uma metodologia que tem como base estes modelos “inteligentes” de informações sobre um edifício, a apresentação do *software* utilizado no caso de estudo encontra-se no Anexo I.

A revisão bibliográfica foi feita com consulta de diversas publicações e artigos científicos sobre os seguintes temas: *Building Information Modeling*, *Lean Construction* e *Integrated project Delivery (IPD)*. A maior parte da literatura foi retirada do *International Group for Lean Construction (IGLC)*, do *Lean Construction Institute (LCI)*, da revista *Automation in Construction* e do *BIM Handbook by Chuck Eastman*. Foram ainda consultadas dissertações de mestrado e teses de doutoramento.

2.1. COMPETITIVIDADE E INCUMPRIMENTOS DAS FUNÇÕES DE GESTÃO NA CONSTRUÇÃO

2.1.1. PANORAMA INTERNACIONAL

A indústria dos arquitectos, engenheiros e construtores (AEC) tem sido vítima dos seus pobres desempenhos. A *US Bureau of Labor Statistics* mostra que nos últimos quarenta anos (1964-2003), as indústrias melhoraram a sua eficiência, duplicando quase a sua produtividade, enquanto, pelo contrário, a indústria da construção falhou no seu aumento de produtividade (Yang e Wang, 2010). Estatísticas do Instituto da Indústria da Construção Americano, situado na Universidade do Texas demonstram que a percentagem de actividades sem valor acrescentado na indústria da AEC representa 62% do

valor total das actividades (Pena-Mora e Li, 2001). Todos estes índices demonstram a ineficiência do paradigma da produção tradicional (Yang e Wang, 2010).

O The American Institute of Architects (2007) mostrou que 83% das empresas de construção dos US necessitam de alterar o método de gestão de projectos actual. Nas duas décadas passadas, foram feitos esforços para alterar o velho paradigma da construção, contudo, a maior parte deles falharam, por falta de ferramentas tecnológicas adequadas e teoria base. Com o aparecimento do BIM e a implementação de princípios da LC, estamos perante uma grande oportunidade para mudar o velho paradigma (Sacks *et al.*, 2010).

A LC e o BIM têm provocado mudanças fundamentais na AEC. Apesar de serem conceitos diferentes e separados, existem sinergias entre eles (Sacks *et al.*, 2010). O BIM, como processo e metodologia tem características que são fundamentais na eliminação de desperdícios na construção, estimula a implementação dos princípios *Lean* e oferece características que promovem maior fluxo no trabalho (Sacks *et al.*, 2009).

Através da utilização conjunta destes dois princípios estamos perante uma abordagem denominada *Integrated Project Delivery* (IPD) – que integra pessoas, sistemas, estruturas empresariais e práticas num processo colaborativo que utiliza os potenciais de todos os participantes no projecto, para otimizar os resultados, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases do projecto (Yang e Wang, 2010). Os potenciais benefícios que resultam desta metodologia são enormes, seguindo-se alguns:

- Aumento da colaboração entre equipas nos processos que abrangem a concepção dos edifícios, construção e entrega do projecto;
- Aproveitamento das capacidades de cada um dos participantes no projecto de construção;
- Sistema transparente de partilha de informação entre todos os participantes do projecto;
- O sucesso das equipas está ligado ao sucesso do projecto, com risco e recompensa partilhado;
- Tomada de decisões com base em valores coerentes;
- Redução do desperdício e tempos de execução dos processos;
- Controlo e aumento da qualidade na execução dos processos.

2.1.2. PANORAMA PORTUGUÊS

No cenário português existe uma falha recorrente na comunicação e coordenação, e uma ausência de responsabilização entre os diversos intervenientes num projecto de construção, gerando-se assim projectos deficientes. Um projecto deficiente poderá ter consequências imprevisíveis no desenvolvimento do mesmo (Couto e Teixeira, 2006).

Moura e Teixeira (2007) referem que tanto os donos de obra como os construtores, atribuem a principal responsabilidade pelos atrasos quer a acções de donos de obra, quer a acções dos projectistas, secundadas pela inadequada gestão da obra (para o dono de obra) e pelas particularidades específicas do projecto (para os construtores). De igual modo, quer os donos de obra quer os construtores, atribuem os erros de projecto, às condições locais diferentes das previstas e às ordens de alteração directas emanadas do dono de obra, como as principais causas para as derrapagens de custos nas obras. Quanto à falta de qualidade do produto final, os erros de execução, as soluções de projecto inadequadas e um planeamento deficiente são as razões principais apontadas por ambos os intervenientes. No Congresso da Construção (2007) referiu-se que a falta de formação específica, a insuficiente preparação das tarefas e a falta de transparência nos processos de construção são as principais razões apontadas para uma deficiente gestão de obras.

O Tribunal de Contas (2009) recomenda que os donos de obra invistam na melhoria da qualidade dos projectos, ao nível da sua coerência e da pormenorização das soluções apresentadas, assim como no rigor das suas especificações, na definição e quantificação da natureza dos respectivos trabalhos e no acompanhamento durante a obra. Para o efeito, devem promover a revisão dos projectos, através de uma equipa de técnicos independentes e de reconhecida competência, revisão essa que deve acontecer antes do lançamento do concurso e devem assegurar um controlo rigoroso do planeamento e estado das actividades no decurso da obra. Estas medidas, além de salvaguardar a qualidade dos projectos, garantem um controlo mais eficaz de custos e de prazos.

A sustentabilidade deste grande sector que é a construção, passa cada vez mais por se exigir o máximo de todas as fases de intervenção, desde o projecto, à concepção e à exploração. As metodologias BIM e *Lean* são uma contribuição bastante importante para que se atinjam patamares de perfeição mais elevados, originando melhores fluxos de trabalho, controlando melhor os custos e os prazos de execução.

2.2. INTRODUÇÃO AO BIM

Em 1974, Chuck Eastman, professor da *Georgia Institute of Technology*, e outros cinco autores apresentaram um artigo. O artigo descrevia os problemas dos principais meios de comunicação no processo de construção, sendo os meios desenhos, incluindo notas e especificações escritas. Alguns dos problemas encontrados foram:

- Desenhos 2D são inerentemente redundantes, porque para descrever um espaço tridimensional com dois desenhos dimensionais, são necessários pelo menos dois desenhos, representando portanto uma dimensão duas vezes. Estes são redundantes ainda no aspecto em que muitos objectos são representados em vários desenhos diferentes, mas em escala diferente. Tudo isto leva a que alterações efectuadas num desenho conduz a mudanças em todo um conjunto de desenhos.

- São necessários grandes esforços para manter toda a informação actualizada. Mesmo assim existe um grande risco da informação se perder, levando a que em algum lugar esta seja obsoleta ou não consistente. Isto pode resultar em tomadas de decisão por parte de projectistas e construtores com base em informações erradas.
- Toda a informação necessária para a análise da construção é retirada manualmente dos desenhos, este é um trabalho longo e intensivo.

A sua solução para este problema foi criar um sistema de computador que pudesse armazenar, manipular e analisar informações detalhadas de projecto, construção e operação. Este sistema de computador foi denominado de *Building Description System* (BDS) (Eastman *et al.*, 1974).

Hoje, os problemas identificados por Eastman (1974) há mais de trinta e cinco anos atrás, ainda existem, talvez em menor grau, mas ainda ocupam uma grande parte do processo de construção. Este é um processo fragmentado e a comunicação é feita essencialmente por papel, os erros nesses documentos criam muitas vezes atrasos e custos de campo imprevistos (Eastman *et al.*, 2011). E ainda hoje as soluções para estes problemas remetem às soluções apresentadas por Chuck Eastman, independentemente da denominação atribuída, seja ela *Virtual Design and Construction* (VDC), IPD ou BIM. No entanto, nos últimos anos BIM tornou-se na sigla escolhida por muitas instituições (GSA, AIA) (Bell *et al.*, 2007), bem como para os principais produtores de *software* de modelação (*Autodesk®*, *Tekla®* e *Bentley®*).

Mesmo que o conceito ou um conceito similar ao BIM, tenha sido desenvolvido há trinta e cinco anos ele nunca vingou na indústria da construção. Ao contrário de outras indústrias, como é o caso da indústria aeronáutica, que abraçou este conceito de modelação computacional, e utilizou para projecto, teste e optimização de soluções, a indústria da construção optou por mais ou menos apenas digitalizar os desenhos 2D. No entanto, isto está a mudar e grandes instituições e proprietários como por exemplo, o GSA nos EUA, o *Senate Properties* na Finlândia, já estipularam o uso de BIM como um requisito obrigatório nos projectos e contractos (Figura 2.1) (Bell *et al.*, 2007).



Figura 2.1 - BIM no Mundo (adaptado de WSPGroup for BIM, (2011))

Segundo Sacks *et al.* (2010) o BIM terá um grande impacto na indústria da construção, e muitos dos problemas enfrentados pelo sector serão resolvidos com a ajuda do BIM, destacando-se entre outros:

- O BIM permite gerar desenhos de qualquer conjunto de objectos a qualquer momento no projecto, reduzindo assim o tempo perdido em desenhos feitos à mão;
- Permite realizar estimativas de custo e quantidades de forma automatizada, com rapidez e facilidade;
- O modelo permite detectar colisões e conflitos antes de iniciar a fase de construção;
- Todas as mudanças realizadas no modelo são automaticamente actualizadas em todos os desenhos;
- Facilita a implementação dos princípios *Lean*, pois estes exigem uma coordenação rigorosa, que é facilmente alcançável com recurso ao BIM.

2.2.1. CAD – DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR

A premissa inicial de um sistema CAD foi automatizar a tarefa de redigir. Como tal, o foco original de aplicações de CAD 2D foi para representar a geometria através de elementos gráficos, tais como linhas, arcos, símbolos, etc. (Howell e Batcheler, 2008).

Uma linha por exemplo, é definida pelos seus pontos de início e fim, *layer*, cor, etc., podendo representar uma infinidade de objectos. A sua função ou propósito é interpretada de forma variável, consoante o seu contexto ou por convenções previamente estabelecidas (Autodesk, 2007).

Neste contexto, as paredes, por exemplo, são meramente representadas como linhas paralelas. Para estabelecer algum significado por trás desse conjunto de elementos, o conceito de *layers* foi criado para permitir o agrupamento de elementos relacionados, por exemplo as linhas utilizadas para criar

uma parede são agrupadas no *layer* paredes. No entanto as informações mais complexas, como as relações entre os elementos não podem ser representadas (Howell e Batcheler, 2008).

A tecnologia CAD permite elevados níveis de automatização de desenho, relativamente a técnicas de produção manual (TECAD, 2009).

2.2.2. SISTEMAS ORIENTADOS AO OBJECTO CAD (OOCAD)

Mais recentemente, os sistemas Orientados ao Objecto CAD (OOCAD) permitiram adicionar propriedades específicas a elementos geométricos 2D ou 3D, capazes de representar o comportamento do edifício comum por esses elementos. Estes elementos de construção podem ser exibidos em vários pontos de vista e não ter atributos gráficos atribuídos. A inclusão da geometria paramétrica 3D, com dimensões variáveis e regras atribuídas, acrescenta a “inteligência” a estes objectos, permitindo a representação das complexas relações geométricas e funcionais entre os elementos do edifício. Neste paradigma, as paredes são objectos que podem ser esticados, possuem altura e propriedades associadas, como resistência ao fogo e capacidade de isolamento. Da mesma forma, as portas e janelas são representadas como objectos, com comportamento em conformidade com as paredes em que estão colocados. Nas versões antigas do CAD não era possível estabelecer este relacionamento entre elementos (Howell e Batcheler, 2008).

2.2.3. O BIM

Até um passado recente, os *softwares* 2D, tais como o *AutoCAD* e a *Microstation*, foram utilizados pela maior parte das empresas na elaboração dos seus projectos. Como tal, estas tiveram as limitações normais na construção de edifícios causadas pelas incompatibilidades entre desenhos (Eastman *et al.*, 2003).

Com o objectivo de resolver os problemas da indústria, o BIM leva à criação e à utilização de métodos coerentes de informação por meio de computador, num projecto de construção, na fase de concepção. Essa informação será utilizada na tomada de decisões durante o projecto, na produção de documentos de construção de alta qualidade, no prognóstico de desempenho, na relação estimativa/custo, no planeamento e, finalmente, na gestão e no funcionamento do edifício (Kiviniemi *et al.*, 2008).

Basicamente, o BIM é uma tecnologia e processo emergente na indústria da Arquitectura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) depois dos desenhos em papel e do desenho CAD (SUCCAR, 2009). Tal como os sistemas CAD se desenvolveram do 2D para o 3D, 4D e até 5D, incluindo não só a geometria em três dimensões, mas também o tempo (4D) e os custos (5D) (Kraus *et al.*, 2007), o BIM inclui todas estas dimensões e ainda informações mais específicas sobre os vários elementos e sistemas associados a um edifício (General Services Administration (GSA), 2007).

A grande diferença de utilização de uma metodologia BIM para o processo actual, é que mesmo com o CAD 2D a troca de informação entre os vários intervenientes num projecto de construção é realizada a maior parte das vezes recorrendo a impressões de várias conjuntos de desenhos, enquanto

que com CAD 3D e, especialmente com o BIM, esta troca é feita através de modelos virtuais (Figura 2.2). Desta forma, enquanto a evolução da impressão dos vários conjuntos de desenhos é separada no tempo, a utilização de modelos virtuais exige um trabalho colaborativo e portanto, muda a prática há muito estabelecida, em que os diferentes participantes no projecto entram em fases temporais diferentes (Taylor, 2007). Mais uma vez esta alteração no processo trabalho vem contribuir para a implementação dos princípios *Lean*. O BIM permite assim a utilização, a reutilização e a troca de informação a partir de uma tecnologia de modelação 3D-2D integrada, onde todos os documentos electrónicos se inserem num modelo único 3D (Eastman *et al.*, 2011).

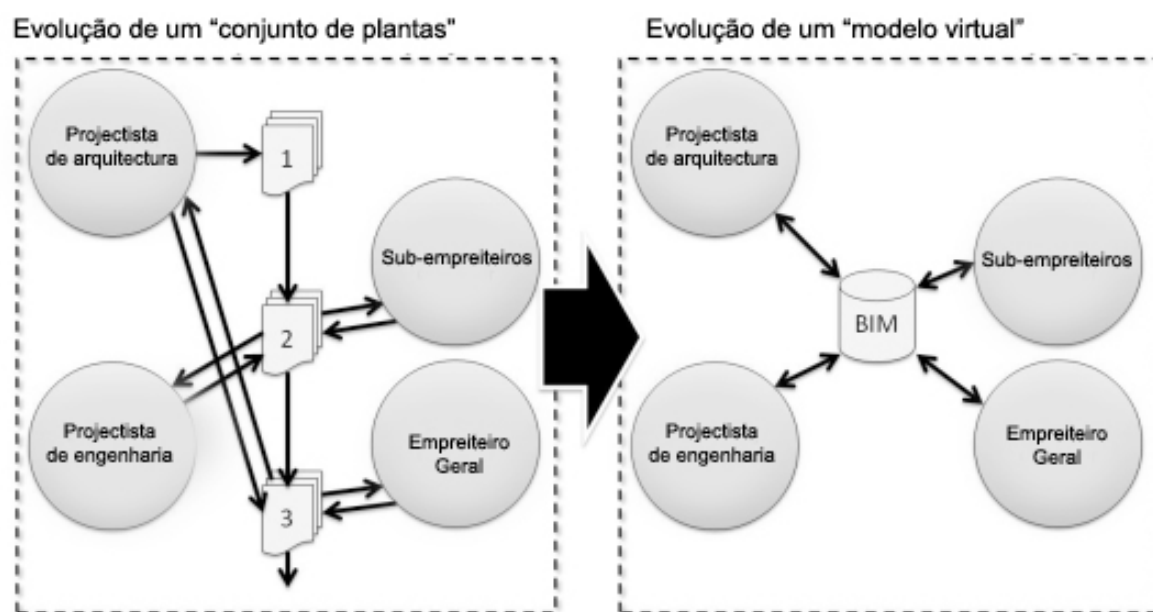


Figura 2.2 - Processo de troca de informação na fase de obra (adaptado de Taylor, (2007))

Após vários anos a ignorar o desenvolvimento de métodos de modelação digital, poderá agora ter lugar na indústria da construção uma nova etapa na evolução dos processos construtivos (Eastman *et al.*, 2003).

2.2.4. DEFINIÇÃO DO BIM

BIM é um conceito abrangente. Recorrendo a uma pesquisa na literatura, deparamo-nos com várias definições. A primeira, e mais reconhecida é, BIM como um produto ou representação digital inteligente de um conjunto de dados estruturados que definem um edifício. A segunda é BIM como um processo colaborativo que representa uma estrutura empresarial de trabalho e de comunicação baseada no uso de padrões abertos de partilha de informação, que melhora a qualidade e a eficiência (Eastman *et al.*, 2011). Finalmente, surge BIM como uma ferramenta de gestão de instalações durante o seu ciclo de vida, constituindo uma base de informação fiável, verificável, transparente e sustentável que as equipas utilizam na exploração da instalação ao longo de todo o seu ciclo de vida (National Institute of Building Sciences (NIBS), 2007).

O glossário do manual do BIM (Eastman *et al.*, 2011) define BIM como “um verbo ou adjetivo para descrever as ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas pela documentação digital processada por computador sobre um edifício, a sua performance, o seu planeamento, a sua construção e posteriormente a sua operação.

Segundo a NIBS é definido como sendo uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício e sobre o ponto de vista temporal pode ser representado por três categorias de modelo: como ele era, como ele é, como ele há-de ser (Penttilä, 2006). Como tal, proporciona as bases para a evolução do processo de construção e a colaboração entre os diversos intervenientes, em diferentes fases do ciclo de vida de um edifício (Sacks e Warszawski, 2000), e destina-se a introduzir, extrair, actualizar ou alterar dados em cada uma das etapas (Kiviniemi *et al.*, 2008).

O BIM inclui todos os relacionamentos de cada um dos componentes do edifício por ele descrito. Como tal, um modelo BIM é um modelo “inteligente” (Bazjanac, 2007). O modelo “inteligente” refere-se ao facto de que a informação pode estar inserida num modelo virtual tridimensional. Alguma desta informação é física, já que vai conter dados sobre a natureza de um objecto, como a sua dimensão, a sua localização em relação aos outros objectos do modelo, a quantidade de objectos e outra informação parametrizada do próprio objecto. Por exemplo, considerando o objecto “parede”, a informação parametrizada do próprio objecto refere-se àquela que distingue um componente específico de outro idêntico. Na verdade, as paredes têm qualidades em comum, mas cada uma pode possuir características diferentes, tais como, as suas dimensões, o tipo de material que a constitui e informações do fornecedor. Cada aspecto deste tipo pode ser programado no objecto para que ele represente exactamente o que o projecto exige (Grilo e Jardim-Gonçalves, 2009).

Na tecnologia BIM, a geometria, dados e o respectivo comportamento estão integrados, permitindo estabelecer relações entre os mesmos. As suas características únicas, permitem a representação e simulação do comportamento real de edifícios, a automatização da produção de documentação, a determinação de custos associados ao projecto e respectiva execução, facilitando em simultâneo a comunicação e coordenação, permitindo um elevado incremento de produtividade (Figura 2.3) (Azhar *et al.*, 2008).



Figura 2.3 - Modelo BIM: desenho 3D, plantas, alçados, e fluxo de informação (adaptado de Barrington, (2010) "A Guide to BIM")

Ou seja, o resultado final é um modelo BIM que simula todo o projecto de construção num ambiente virtual (Eastman *et al.*, 2011). O *American Institute of Architects* (AIA) define BIM como “um modelo baseado em tecnologia ligada a uma base de dados de informação do projecto, a qual pode ser partilhada, actualizada e alterada” e isso reflecte a grande dependência desta metodologia, de tecnologia de base de dados (Kiviniemi *et al.*, 2008).

2.2.5. BIM – PROCESSO COLABORATIVO, COORDENATIVO, NORMATIVO E A INTEROPERABILIDADE

A evolução da dimensão dos projectos na actualidade e o respectivo carácter multidisciplinar, exige a colaboração de diversos profissionais e entidades no desenvolvimento dos mesmos (US National Institute of Standards and Technology, 2004)(Figura 2.4) (TECAD, 2009)

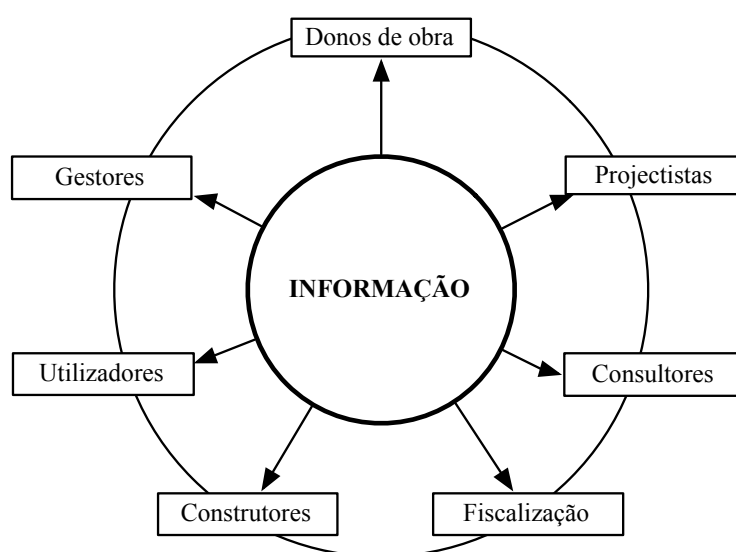


Figura 2.4 - Projecto Colaborativo (adaptado de NormaBIM, (2007))

Uma das premissas básicas do BIM é a colaboração entre os diferentes intervenientes em diferentes fases do ciclo de vida de um edifício. Esta permite que os dados possam ser introduzidos, retirados, actualizados e alterados de forma a apoiar cada um dos intervenientes (Kiviniemi *et al.*, 2008).

Estamos assim perante um conjunto de interacção das políticas, processos e tecnologias, que originam uma metodologia para gerir um projecto de construção (Penttilä, 2006). Tendo em conta este ambiente de multi-aplicações, os vários aplicativos não comunicam directamente uns com os outros, torna-se então necessário e importante definir normas comuns de transferência de informação. Para resolver este desafio da interoperabilidade foram desenvolvidas as *Industry Foundation Classes* (IFC), pela Aliança Internacional pela Interoperabilidade (IAI) (Froese *et al.*, 1999).

O objectivo do desenvolvimento da IFC é fornecer uma norma comum para a transferência de modelos completos e precisos de informações de edifícios pelos vários participantes no projecto, independentemente das aplicações usadas e sem qualquer perda de informação (Howard e Björk, 2008). O

modelo constitui uma base de informação compartilhada entre os intervenientes do projecto, aumentando à medida que o projecto passa pelas diferentes etapas de construção (LAACD, 2009).

Em Agosto de 2004, o US National Institute of Standards and Technology (2004), publicou um relatório designado “*Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*”, concluindo que a falta de normalização e interoperabilidade, a elevada fragmentação de empresas, e a utilização de tecnologia inadequada, constituem importantes obstáculos à redução de custos e prazos de execução, no desenvolvimento de projectos e na construção em geral. Estas perdas ascenderam a 15,8 biliões de dólares no ano de 2002, das quais 7,3% estão relacionadas com arquitectura e engenharia, 11,4% em construção, 13,9% com fornecedores de equipamentos e materiais e 67,3% com proprietários e operadores de edifícios. Concluíram ainda que, a utilização de tecnologia de informação BIM, promete reduzir drasticamente estes montantes, através da existência de um modelo único de construção, facilitando a comunicação entre os diversos intervenientes.

O avanço em protocolos de software e de comunicação, liderados pelo *Green Building Studio's gbXML* (www.gbxml.org) tem aumentado. De acordo com o seu *website*, “O esquema XML da gbXML foi desenvolvida para facilitar a transferência de informações armazenadas através de modelos *CAD Building Information Models*. Isto permite a interoperabilidade integrada entre modelos de projecto e uma grande variedade de ferramentas de análise de engenharia. Hoje a gbXML tem o apoio da indústria e é reconhecida pela maior parte dos principais vendedores CAD (*Autodesk®*, *Graphisoft®* e *Bentley®*). Com o desenvolvimento das capacidades de exportação e de importação da maior parte das grandes ferramentas de modelos de engenharia, a gbXML tornou-se, na realidade, num esquema normalizado da indústria. O seu uso simplifica verdadeiramente a transferência de informações construtivas dos modelos de engenharia para esses mesmos modelos. Isto elimina uma barreira significativa do custo, permitindo planear recursos construtivos mais eficientes e descrever melhor os equipamentos associados”, diz (Holness, 2008).

2.2.6. BIM E O CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS

Uma das principais características de um modelo BIM é o seu sistema de modelação 3D acompanhado de uma gestão, uma partilha e uma troca de dados durante o ciclo de vida útil do edifício (Vanlande *et al.*, 2008), tornando-se num recurso longo e compartilhado, para um edifício ou instalação, desde os primeiros desenhos de concepção, através da construção e durante os anos de utilização em que é mantido e actualizado através de alterações, acréscimos ou reformulações de uso, até ao fim da vida útil do edifício ou instalação (Ham *et al.*, 2008).

O *National Institute of Building Sciences (NIBS)* desenvolveu a *National BIM Standard (NBIMS)* através do projecto *Facilities Information Council (FIC)*, iniciado em finais de 2005. Este normaliza o tipo e o formato de todos os dados que definem um edifício ao longo do seu ciclo de vida, desde a sua concepção até à sua demolição. A NBIMS tem como principais objectivos promover a

organização dessa informação para que seja útil, actual e acessível a todos os elementos da indústria AECO (Bazjanac, 2007).

Um modelo BIM fornece assim uma fonte, lógica e consistente para toda a informação associada ao edifício, constituindo uma base de dados de conhecimento, partilhado ao longo do ciclo de vida das construções (Howell e Batcheler, 2008).

2.2.7. BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO BIM

Uma das razões que mais se destaca da implementação BIM, reside na forma como se desenvolve todo o projecto e a automatização do processo de produção de toda a documentação, incluindo plantas, cortes, alçados, listagens de equipamentos, mapas de vãos e de acabamentos, entre outros (Eastman *et al.*, 2011).

O BIM traz inúmeros benefícios para a indústria da construção, tais como: melhorias significativas de produtividade; projectos mais eficientes; detalhes e produção mais rápidos; suporte melhorado para automatizar e reduzir erros devido a coordenação interna (Eastman *et al.*, 2003).

Mais especificamente, o BIM permite uma gestão mais fácil de todos os dados necessários para a concepção, construção, uso e exploração de edifícios (Sacks *et al.*, 2010).

Outra característica importante desta tecnologia é o facto de um edifício poder ser construído virtualmente antes de o ser fisicamente. Isto permite detectar cedo qualquer tipo de conflito reduzindo o número de pedidos de informação, face ao edifício em questão, e a alteração de projectos ao longo da sua construção (Madsen, 2008). Com esta possibilidade poder-se-á, aumentar a qualidade da construção, permitindo um melhor apoio à tomada de decisões e melhorar a qualidade do projecto e desempenho a longo prazo dos edifícios (Sacks *et al.*, 2010).

O BIM pode assim reduzir custos e riscos durante o projecto, fornecendo maior confiança no controlo do orçamento e aumentar a eficiência, reduzindo o tempo e permitindo avaliação de múltiplas alternativas de projecto (Azhar *et al.*, 2008).

Madsen (2008) afirma que “anos depois da conclusão de um projecto, os operadores responsáveis pela manutenção do edifício, podem voltar a utilizar o modelo digital”. Esta é uma vantagem derivada de uma ferramenta BIM dispor de uma “biblioteca de objectos” à disposição de qualquer interveniente (Kiviniemi *et al.*, 2008). Através do computador, os responsáveis pela manutenção ao premirem sobre um aparelho de AVAC obtêm o seu número de série, a data de instalação, o caudal insuflado/ extraído, a sua garantia, e qualquer outra informação relacionada com esse equipamento, e assim sucessivamente para todos os objectos presentes no modelo (Madsen, 2008).

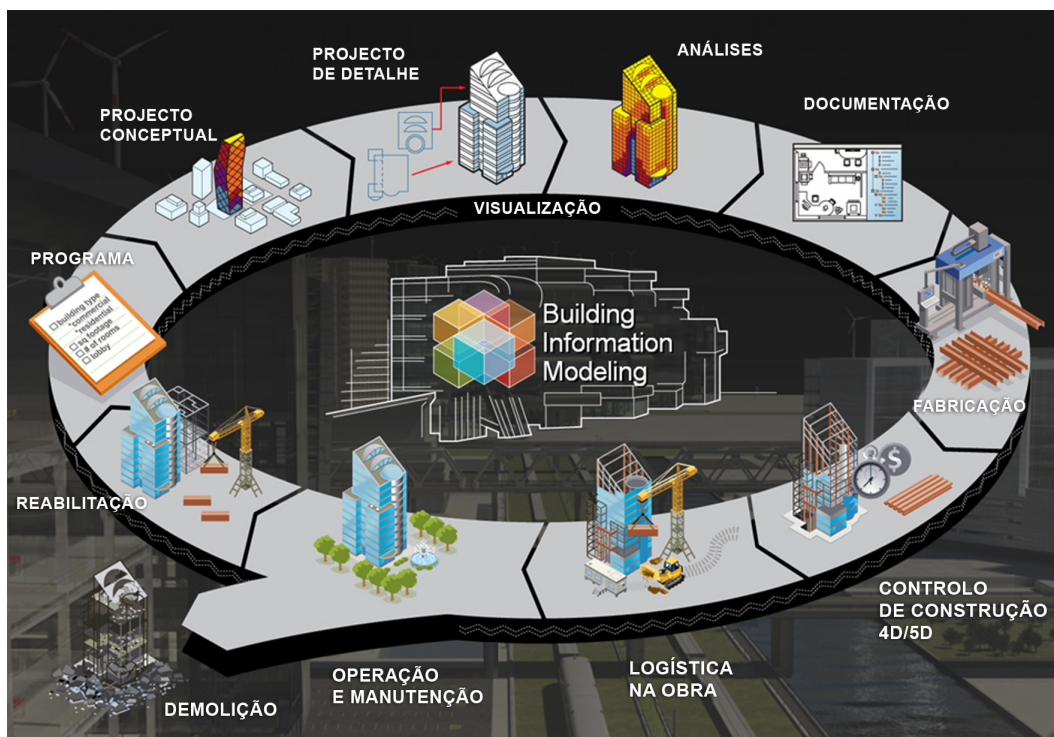


Figura 2.5 – Ciclo de vida do edifício (adaptado Autodesk (2009))

Como podemos observar na Figura 2.5 o BIM é todo um processo integrado que permite aos intervenientes explorarem e estudarem um modelo conceptual antes deste ser construído. Este ciclo integra num único modelo o “DNA” do edifício. A sucessão de informação e coordenação são utilizados em todos o processo de concepção do projecto, o aspecto visual e a documentação são utilizados para uma melhor comunicação e compreensão. Isto possibilita uma melhor percepção de características importantes, tais como custos, planeamento e construção, operação e manutenção, fabricação e demolição (Autodesk, 2007).

Como já referido, a tecnologia BIM traz enormes benefícios para a indústria da construção, contudo a sua utilização na indústria AECO/FM está agora a dar os primeiros passos, no entanto já foram realizadas melhorias significativas (em comparação com a utilização de informação baseada em papel e desenhos CAD 2D). Contudo ainda faltam dar muitos passos. A Figura 2.6 ilustra como a tecnologia BIM e processos associados são o cerne de como o projecto e construção de edifícios pode responder às pressões crescentes de complexidade, rapidez e sustentabilidade da construção, reduzindo o custo do edifício e da sua utilização posterior, a prática tradicional não consegue responder de forma sustentável a esta pressão (Eastman *et al.*, 2011).

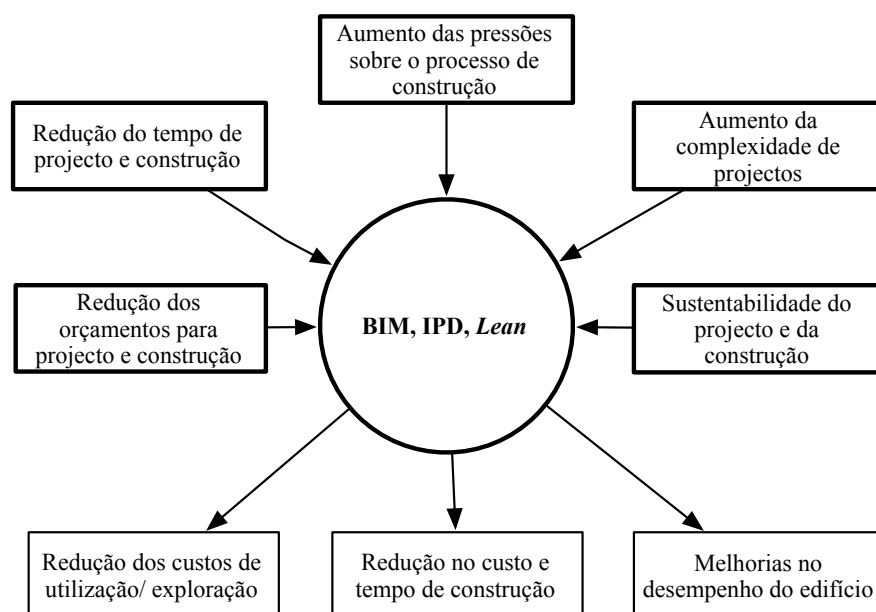


Figura 2.6 - BIM como resposta às pressões da construção nos dias de hoje (adaptado de Eastman *et al.*, (2011))

Na próxima secção estão listados os benefícios resultantes da utilização de uma metodologia BIM, sendo este capítulo baseado nos capítulos quatro, cinco, seis e sete do BIM Handbook

2.2.7.1 Benefícios na pré-construção para o dono de obra

Os donos de obra podem obter benefícios significativos em projectos, utilizando processos e ferramentas BIM, com o fim de entregar infraestruturas de melhor qualidade e desempenho. O BIM facilita a colaboração entre todos os envolvidos no projecto, reduzindo os erros e as alterações na obra, traduzindo-se num processo de entrega mais eficiente e confiável, que reduz o tempo e custo do projecto. Os donos de obra podem utilizar os modelos BIM para:

- Avaliação de viabilidade do projecto

A existência de um modelo BIM associado a uma base de dados de orçamentação e de planeamento pode ser de imenso valor para um proprietário, na medida em que permite determinar se, uma determinada infra-estrutura, pode ser construída respeitando os requisitos do proprietário e cumprindo um orçamento determinado.

- Aumento do desempenho e qualidade da construção

A avaliação precoce de várias alternativas de projecto utilizando ferramentas de análise e simulação, garantindo um aumento da qualidade global da infra-estrutura.

- Aumento da colaboração recorrendo ao IPD

O BIM pode ser utilizado pela equipa de projecto desde o início do projecto, para garantir um melhor entendimento dos requisitos de projecto e extrair relatórios de custo, à medida que o projecto é desenvolvido. Isto permite que o projecto e os custos sejam melhor compreendidos e evita o uso de troca de informação em papel e os atrasos associados.

2.2.7.2 Benefícios de desenho/ projecto

O BIM pode ser considerado a transição para uma nova prática de desenhar/ projectar. Ao contrário de CAD, que automatiza principalmente aspectos tradicionais de produção de desenho, o BIM é uma mudança de paradigma. Ao automatizar o nível de detalhe dos modelos de construção, o BIM coloca mais ênfase no desenho conceptual, porque o aproxima do projecto real. Outros benefícios directos incluem a garantia de consistência de informação entre todos os desenhos e relatórios e a detecção automática de conflitos espaciais, fornecendo uma base forte para a análise/ simulação e melhorando a visualização/ comunicação em todas as escalas e fases do projecto.

- Visualização mais cedo e mais precisa de um projecto

O modelo 3D gerado através de software BIM é projectado directamente ao invés de ser gerado a partir de várias vistas 2D. Ele pode ser utilizado para visualizar o projecto em qualquer fase do processo, com o benefício que será dimensionalmente consistente em todas as vistas geradas.

- Alterações corrigidas automaticamente em todos os desenhos

Como todos os desenhos 2D e relatórios relativos ao projecto são gerados de um único modelo central, sempre que são introduzidas alterações, estas são propagadas automaticamente por todos os desenhos e relatórios.

- Geração precisa e consistente de desenhos 2D em qualquer fase do processo

O modelo BIM permite a extracção automática, precisa e consistente de desenhos e vistas de objectos e exibições específicas do projecto. Isto reduz significativamente a quantidade de tempo e número de erros associados com a geração de desenhos de projecto para todas as especialidades e sempre que é efectuada uma alteração.

- Colaboração cedo nas várias disciplinas de projecto

Um modelo BIM facilita o trabalho colaborativo entre as várias disciplinas de projecto. A utilização de um modelo coordenado e partilhado encurta as durações de projecto, e diminui significativamente erros e omissões de projecto.

- Verificação fácil das intenções de projecto

Um modelo BIM permite analisar visualmente uma infra-estrutura, quantificar áreas de espaço e analisar quantidades de materiais, permitindo estimativas de custo mais cedo e mais precisas e permitindo uma verificação precisa da disposição espacial da infra-estrutura.

- Extracção de estimativas de custo mais cedo no projecto

Em qualquer fase do projecto, a tecnologia BIM permite extrair mapas de quantidades e de espaços automáticos, que podem ser utilizados para estimativas de custos. À medida que o nível de detalhe do modelo avança, as estimativas de custo vão-se aproximando das finais.

- Melhoria da eficiência energética e sustentabilidade

A facilidade em ligar o modelo 3D a ferramentas de análise energética e simulação dinâmica, permite logo desde o início simular os desempenhos energéticos do edifício, contribuindo assim para o desenvolvimento de edifícios de qualidade superior.

2.2.7.3 *Benefícios para a construção e fabricação*

As infraestruturas são cada vez mais complexas. Elas são um tipo de produto que exigem projectos multidisciplinares e capacidades de fabricação. A especialização das disciplinas da construção civil e a pré-fabricação contribuem para o aumento dos componentes e sistemas das infraestruturas pré-montados ou fabricados fora do local. As infraestruturas complexas exigem ainda desenhos personalizados e fabricação de componentes específicos, incluindo: aço estrutural, estruturas de betão pré-moldado, sistemas mecânicos, eléctricos e hidráulicos (MEP), etc.

- Utilização do modelo como base para fabricação

Um modelo BIM 3D pode ser transferido para uma ferramenta BIM de fabricação e detalhado até ao nível de fabricação de objectos, contendo assim uma representação exacta dos objectos constituintes da infraestrutura para fabricação e construção. Isto facilita a fabricação *off-site* e reduz o tempo e o custo de construção.

- Reacção rápida às mudanças de desenho

O impacto de uma alteração sugerida para o projecto pode ser analisada, quando introduzida no modelo BIM, pois este irá automaticamente actualizar todas as alterações necessárias nos outros objectos e em todas as vistas. Algumas alterações serão automáticas devido às relações paramétricas entre objectos, enquanto que outras poderão ser detectadas com a ferramenta *clash-detection*. Como reflexo, as alterações de projecto são resolvidas mais rapidamente num sistema BIM, porque as alterações podem ser partilhadas, visualizadas, estimadas e resolvidas sem o consumo de tempo utilizando troca de desenhos em papel.

- Identificação de erros e omissões de projecto antes da construção

Como o modelo BIM é a fonte de todos os desenhos 2D e 3D, os erros de projecto causados por desenhos 2D não consistentes são eliminados. Como os modelos de todas as disciplinas podem ser reunidos e comparados num único modelo, as interfaces dos vários sistemas podem assim ser verificadas, tanto sistematicamente (colisões fortes e claras) como visualmente (para outro tipo de erros). Os conflitos e problemas de construção podem assim ser identificados, em vez de serem apenas detectados no campo.

- Sincronização de projecto e planeamento de construção

O planeamento da construção utilizando sistemas 4D, requer a ligação de um planeamento de construção aos objectos 3D de um modelo, de modo que é possível simular o processo de construção e mostrar como o edifício e o local se vão parecer em qualquer fase do tempo. Esta simulação gráfica fornece um conhecimento considerável de como a infraestrutura será construída no dia-a-dia e revela as fontes de potenciais problemas e oportunidades de melhoria possíveis (problemas de segurança, conflitos de espaço, equipas e equipamentos, etc.).

- Melhor implementação das técnicas *Lean Construction*

As técnicas *Lean* têm como base a redução do desperdício e a maximização do fluxo de trabalho. Como tal requerem uma cuidadosa coordenação entre o empreiteiro geral e todos os subcontrata-

dos, para garantir que o trabalho possa ser realizado quando os recursos adequados estão disponíveis no local. O BIM fornece um modelo exacto do projecto e os recursos necessários para cada segmento de actividade, fornecendo assim a base para uma melhor planificação e programação dos trabalhos a realizar. Permite assim a redução de custos e o aumento da colaboração na obra.

2.2.7.4 *Benefícios na pós-construção*

Um modelo BIM contém toda a informação relativa à infraestrutura, incluindo peças desenhadas e informação de todos os equipamentos existentes. Toda esta informação pode ser utilizada ao longo do ciclo de vida do edifício quer em obras de exploração/ manutenção.

- Aumento da informação relativa à infraestrutura para obras de exploração

Durante a construção os vários intervenientes nos projectos de especialidades podem adicionar informação complementar no modelo BIM, informação essa que pode ser utilizada no futuro para facilitar o processo de gestão da instalação pelo proprietário.

- Melhor gestão e operação de instalações

Um modelo BIM é uma fonte de informação acerca de todos os sistemas utilizados na infraestrutura. Através do modelo BIM é possível para o proprietário analisar as várias soluções de projecto e identificar se estas foram todas correctamente instaladas em obra.

Como o modelo BIM é um modelo que foi actualizado com todas as alterações feitas durante o processo de construção, fornece uma fonte precisa de informações sobre os espaços e sistemas, fornecendo assim um ponto de partida útil para a gestão e operação do edifício.

No entanto é importante referir que devido ao facto de o BIM ser uma metodologia extensa, não pode ser implementado de uma vez só. Succar, (2008) identifica cinco estágios de maturidade para a implementação BIM que são:

Pré-BIM: utilização de desenhos 2D para representar um mundo 3D; São disponibilizadas apenas secções específicas; Mapas de quantidades e custos não são baseados em visualização 3D; O processo colaborativo não é uma prioridade; *Workflow* é linear e assíncronos;

Estágio BIM 1: *Object base modeling*: utilização de software que permite modelação 3D, tal como o *Revit®*, *Teckla®* ou *ArchiCAD®*. Os modelos não são interdisciplinares e os dados fluem apenas numa direcção;

Estágio BIM 2: *Model-based collaboration*: nesta fase os vários intervenientes começam a colaborar uns com os outros, trocando modelos ou partes destes; As trocas podem acontecer entre projectistas e também entre projectistas e arquitectos; Modelação 4D e 5D são também possíveis; Com esta mudança no processo de construção, uma mudança no relacionamento entre equipas torna-se também necessária;

Estádio BIM 3: *Network-based integration*: nesta fase, os modelos são criados, partilhados e mantidos por todos os intervenientes no processo de construção. Os modelos tornam-se interdisciplinares e modelos *nD*;

Integrated Project Delivery: este é o objectivo final de uma implementação BIM - integrar tecnologias, processos e políticas numa organização.

2.3. INTEGRATED PROJECT DELIVERY

Integrated Project Delivery (IPD) é uma abordagem de entrega do projecto que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas num processo colaborativo, que aproveita os talentos e ideias de todos os participantes para otimizar os resultados do projecto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases do projecto e construção (Yang e Wang, 2010). Existem seis características principais do IPD:

- Processo altamente colaborativo que abrange concepção, projecto e construção;
- Aproveitamento desde de início das competências individuais de cada um;
- Partilha aberta de informação entre todos os envolvidos no projecto;
- Sucesso da equipa ligada ao sucesso do projecto, com risco e recompensa partilhadas;
- Tomada de decisões baseada em valores concretos e objectivos.

O IPD e o VDC são técnicas que aproveitam o BIM para fornecer um sistema de gestão de projectos integrado e uma plataforma de colaboração, o primeiro centrado no projecto e o segundo na construção. O BIM funciona como um catalisador numa reacção química, através dele, torna-se muito mais fácil perceber o resultado desejado, tanto de uma perspectiva temporal como económica. BIM como modelo digital é a ferramenta mais poderosa de suporte ao IPD, porque permite combinar informações de projecto e fabricação, instruções de montagem e toda a gestão logística numa base de dados, que fornece uma plataforma para a colaboração ao longo de toda a concepção de projecto e construção (The American Institute of Architects, 2007).

O IPD fornece um ambiente onde o BIM pode atingir o seu grande potencial. O BIM é uma grande oportunidade para se começar a compartilhar informações, contudo, se esta partilha ocorrer em ambientes fragmentados, como é o caso do paradigma tradicional, torna-se difícil e de baixa eficiência. Além disso, o ambiente fragmentado será um impedimento para a entrada, na fase inicial do projecto, da experiência e conhecimento dos empreiteiros e fabricantes (Yang e Wang, 2010).

A cooperação entre o IPD e o BIM está a conduzir a revoluções sem precedentes na indústria da construção, envolvendo a utilização de software de modelação digital, para desenhar, projectar, construir e gerir projectos de forma mais eficaz, oferecendo assim um novo valor para a indústria da construção (Yang e Wang, 2010).

Juntos, conduzem a uma mudança no paradigma da AEC. De acordo com os objectivos do *Center for Integrated Facility Engineering* (CIFE), através da utilização do BIM e de uma prática mais integrada, em 2015, as empresas associadas ao CIFE irão projectar três grandes projectos de AEC dentro de um ano e construí-los num prazo de seis meses, entregar 98% dos seus projectos AEC utilizando apenas 2% dos orçamentos e desenvolver os novos projectos com os custos de projecto, construção e operação reduzidos em cerca de 25% comparativamente a 2002 (Center for Integrated Facility

Engineering (CIFE), 2009). Estes objectivos podem parecer extravagantes, mas alguns projectos piloto, como o complexo de edifícios de escritórios do *Camino medical group mountain view*, têm alcançado grande sucesso utilizando métodos BIM e IPD, entre os quais (Eastman *et al.*, 2011):

- Zero conflitos entre os vários sistemas;
- Menos de 0.2 % de trabalho repetido;
- Melhoria da produtividade em mais de 30 %;
- Menos de duas horas por mês gastas em questões de coordenação de campo pelo director de obra do empreiteiro geral;
- Apenas duas questões de campo relacionadas com pedidos de informação;
- Nenhum pedido de alteração relacionado com questões de conflitos de campo.

No entanto este novo paradigma não chegará facilmente devido à resistência do antigo. Para a mudança será necessário não só tempo, mas esforços feitos por toda a indústria, não importa o quão duro o antigo é, porque o novo virá (Yang e Wang, 2010).

2.4. UTILIZAÇÃO DE BIM NA FASE DE CONSTRUÇÃO

Fonte: *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, Eastman *et al.*, (2011)

Na obra de um projecto que tenha atingido um estágio IPD, o modelo BIM irá conter todas as informações necessárias para a construção. No entanto, não existem muitas situações em que se tenha atingido este estágio. A maior parte dos projectos só chegaram aos primeiros estádios BIM, em que a logística da obra é disponibilizada através de um modelo BIM, ou em que a documentação relativa a como executar tarefas é disponibilizada também nesta forma.

Mas o BIM pode ser utilizado para analisar processos mais complexos que poderão ter um grande impacto no futuro da construção. Por exemplo, através de um modelo BIM é possível perceber que uma ordem dada para o início de uma nova actividade não vai funcionar, visto ir interferir com uma actividade que ainda está por terminar. O modelo BIM permite assim reanalisar a situação e emitir uma nova ordem.

2.4.1. FASE DE PLANEAMENTO

Uma das partes mais importantes na fase de planeamento do projecto é a coordenação entre as diversas partes interessadas; proprietários, arquitectos, projectistas, construtores e subempreiteiros. O objectivo desta coordenação é criar um grupo que deve ser responsável pela construção do modelo BIM. O grupo deve ser constituído por pessoas com experiência em diferentes fases do projecto, e assim, maximizar o nível de conhecimento do grupo. É muito importante garantir a participação dos empreiteiros e subempreiteiros neste grupo, uma vez que possuem conhecimentos aprofundados da fase da construção. Todo este conhecimento permite aos proprietários tomar melhores decisões que podem ter influência na duração, custo e qualidade dos projectos.

2.4.2. NA FASE DE CONSTRUÇÃO

Existem muitas fases da construção em que se pode recorrer ao BIM. Com o aumento do uso de tecnologia BIM, apesar de implementada ainda num estado inicial, o dono de obra irá descobrir novas formas de utilizar esta tecnologia na fase de construção. A informação que o dono de obra pode retirar do modelo é a seguinte:

- informação pormenorizada da construção, esta informação é visualizada através de um modelo 3D, que contém todos os componentes da construção. Permite extrair mapas de quantidades e de componentes a pré-fabricar fora do local da obra;
- componentes e equipamentos temporários, o modelo deve conter informação sobre os componentes e equipamentos temporários a utilizar durante as diversas fases da construção;
- projecto e estado da construção, o empreiteiro deve ser capaz de adicionar dados ao modelo. Isto por sua vez vai permitir que o dono de obra e o empreiteiro geral possam controlar e ver o andamento da obra e verificar esse andamento relativamente ao planeamento.

2.4.3. INCONSISTÊNCIA DA INFORMAÇÃO

A inconsistência de informação na fase de construção refere-se a situações em que há incoerência com documentos de projecto e as condições no local, por exemplo, colisões entre diversos elementos da construção. Pode também ser o caso em que existe versões diferentes do mesmo desenho, que se pode traduzir em elementos construídos com base em versões defeituosas ou antigas, levando a que esses elementos sejam construídos incorrectamente. Na fase de construção, erros deste tipo podem-se traduzir em custos elevados.

O detectar de colisões é algo que se pode facilmente fazer através de um modelo BIM. Existem ferramentas e *softwares* próprios para o fazer. Todos os desenhos gerados através de modelos BIM são consistentes, pois provêm da mesma fonte de informação. Isto significa que todas as partes participantes num projecto, têm o mesmo conjunto de desenhos. Comparando com o paradigma actual, em que uma alteração num desenho implica a alteração manual em todos os conjuntos de desenhos. O BIM permite a propagação de alterações automaticamente em todos os desenhos.

2.5. FILOSOFIA *LEAN*

Para melhor se compreender as sinergias BIM-*Lean*, neste capítulo serão abordados conceitos fundamentais para o entendimento de LC.

2.5.1. LEAN PRODUCTION

O termo *Lean Thinking* (LT) surgiu no Japão por volta do ano 1950, quando os engenheiros Taiichi Ohno e Eiji Toyoda começaram a implementar no *Toyota Production System* (TPS), o conceito de LP. A ideia principal é maximizar o valor para o consumidor, minimizando-se o desperdício (Muda) e os recursos necessários (Womack, 2008).

Womack e Jones, (2000) afirmam “Ao aprender a identificar desperdícios, você irá descobrir que há muito mais desperdício ao seu redor do que você jamais imaginou...”. A mentalidade *Lean* é a forma de combater estes desperdícios, isto é, “fazer cada vez mais, com cada vez menos, e ao mesmo tempo, tornar-se cada vez mais capaz de oferecer aos clientes exactamente o que eles desejam”.

A filosofia *Lean* consiste num conjunto de métodos e medidas, que têm o potencial de acarretar um estado *Lean*, originando uma empresa mais competitiva (Nuno, 2011). Para se conseguir alcançar estes objectivos Womack *et al.*, (1990) apontam cinco princípios básicos da LT:

- Especificar valor para cada produto
- Identificar fluxo de valor para cada produto
- Criar um fluxo de valor contínuo
- Deixar o cliente “puxar” o fluxo de valor
- Perseguir a perfeição

Segundo a perspectiva *Lean*, os produtos são desenvolvidos de forma a fornecer o máximo valor aos seus compradores ou utilizadores. De uma forma ou de outra, os clientes, quer externos quer internos, estão apenas interessados no valor que lhes é feito chegar, e não na quantidade de esforço que a organização emprega em todos os produtos, ou mesmo no valor que é entregue a outros clientes. Assim, os sistemas de produção são desenhados para alcançar os objectivos tanto dos clientes como de “quem” fornece o sistema, ou seja, os produtores. E os produtores, enquanto detentores dos sistemas de produção, têm que ter objectivos consonantes com a pretensão de maximizar o valor e minimizar o desperdício (Ballard *et al.*, 2001).

Fluxo de valor contempla todo o processo de transformação da matéria-prima no produto final. Aqui deve-se identificar os desperdícios, eliminá-los e medi-los, para que se consiga uma redução de custos e de processos (Ballard, 1999). Ora o desperdício é considerado como um dos pontos principais dentro da conceptualização *Lean*. A sua redução é uma das pretensões primárias da cultura *Lean*. Esta filosofia defende que o desperdício da produção advém das actividades que não fornecem valor ao produto final (Ballard e Howel, 2003). Ohno (1988), como grande co-arquitecto do TPS, aponta sete tipos de desperdício (*Muda*), e sugere que estes desperdícios são responsáveis até 95% do total de custos de ambientes *non-Lean*. São os seguintes:

- Sobreprodução: significa produzir mais que aquilo que o cliente pede, ou demasiado cedo. Este princípio advém da definição de sistema *pull* - produzir somente quando o cliente encomenda.
- Espera: inclui espera por material, por informação, por equipamento, por mão-de-obra, por ferramentas, etc. *Lean* exige que todos os recursos sejam fornecidos numa base *just-in-time* - nem muito cedo nem muito tarde.

- Transporte e movimento excessivo: o material deve ser entregue no ponto de utilização. A filosofia *Lean* defende que o material deve ser enviado directamente para o local onde será utilizado para montagem.
- Processamento que não acrescenta valor: o exemplo mais comum é o trabalho que tem de ser refeito – o produto ou serviço não foi executado correctamente à primeira. Para detectar os passos do processo de produção que não acrescentam valor recomenda-se o recurso à técnica de Mapeamento de Fluxo e Valor (MFV).
- Excesso de inventário: está relacionado com a sobreprodução e significa que ter inventário para além do necessário para satisfazer as exigências dos clientes tem um impacto negativo no fluxo e utiliza espaço valioso.
- Defeitos: defeitos na produção ou em serviços provocam desperdício de quatro formas: os materiais são consumidos; a mão-de-obra utilizada não é recuperável; é necessário mão-de-obra para repetir/ corrigir o trabalho; é necessário utilizar novos recursos, para responder a qualquer queixa futura do cliente.

Koskela (2004), adiciona um outro tipo de desperdício “*Making-Do*”, que diz respeito à gestão com falta de meios disponíveis, ou seja iniciar actividades sem todos os pré-requisitos reunidos. Segundo o autor este tipo de desperdício é particularmente importante quando se pretende manter um rendimento alto ou para evitar atrasos no planeamento.

Com o intuito de garantir um fluxo contínuo é essencial o conhecimento de todos os processos, e estes devem estar à vista de todos. Este é um grande exemplo de uma técnica *Lean*, aumentar a transparência nos processos, facilita o controlo e melhoria por parte dos empregados (Koskela, 1992).

Nas teorias da gestão da manufactura distingue-se *push* e *pull* como duas técnicas primárias para a gestão do fluxo de trabalho (Hopp e Spearman, 1996). Um sistema baseado em *push* liberta trabalho para o processo de produção com base em datas pré-estabelecidas. Um sistema *pull* permite que o trabalho no processo de produção seja baseado no estado do processo, isto é, o fornecedor vai ao encontro das necessidades do cliente e não da sua capacidade de produção, evitando assim a sobreprodução (Ballard e Howel, 2003).

A perfeição é o último princípio e significa que nada está realmente acabado. *Lean* não é algo que se implemente totalmente e acabou, mas sim algo que vai procurar maximizar a eficácia de um processo de produção e ao mesmo tempo obter a melhor eficiência possível na execução do mesmo.

O *Lean Production System* pode ser entendido como um mecanismo para transformar o que deveria ser feito sobre o que pode ser feito, formando assim um inventário de trabalho pronto, a partir do qual os planos semanais de trabalho (WWP) podem ser feitos (Ballard *et al.*, 2001).

2.5.2. NATUREZA SINGULAR DA CONSTRUÇÃO

É consensual o facto de que a construção não possui uma propriedade única que a caracterize. No entanto a sua natureza é única face a outras indústrias e pode ser estabelecida através de uma com-

binação de propriedades. Koskela (1992), chama a atenção para três particularidades da natureza da construção:

- Natureza específica de cada projecto: produto singular, cada caso é dimensionado e criado especialmente para cada cliente com base no que foi projectado e desenhado;
- Produção afecta a determinado local e em torno do produto: cada produto está sujeito e condicionado às condições inerentes à própria localização;
- Multi-organização de diversas especialidades e de carácter temporário: existem diversas especialidades de intervenientes no processo, originando uma cadeia de fornecedores diversificada.

Genericamente têm sido apontadas duas vias para a redução da instabilidade relativa, que se verifica na produção da construção. A primeira é a minimização das particularidades para fazer proveito da tecnologia, das técnicas e dos métodos utilizados na manufactura. A ideia é conduzir a uma maior pré-fabricação e normalização dos processos de construção. Tal mudança foi mesmo apontada no Reino Unido pelo Relatório de Egan, (2008) como medida para tornar a construção *Lean*. A segunda via passa pelo desenvolvimento de técnicas dentro da construção que possibilitem lidar com a sua dinâmica (Ballard e Howel, 1998). Ou seja, antes de “industrializar” a construção, é necessário ter o controlo do processo, o que é um objectivo *Lean*.

Tradicionalmente a produção é considerada segundo o modelo de conversão, como transformação de *inputs* em *outputs*. Esta transformação pode existir sob três formas: extracção, fabricação e montagem. No caso da construção poder-se-ia considerar, de uma forma distanciada, a existência de cadeias de montagem onde ocorre uma cadência de actividades que se executam de forma ordenada e em que existe libertação de uma para acontecer outra. Mas na verdade, e olhando mais próximo, verifica-se que são frequentes as alterações da ordem de montagem e que também é muito comum ocorrer fabricação (Ballard e Howel, 1998).

2.5.3. LEAN CONSTRUCTION

A LC traduz-se na aplicação da filosofia *Lean* ao sector da construção. Como já foram referidos anteriormente os principais problemas do sector da construção civil em Portugal são: a baixa produtividade, a falta de colaboração e interacção entre os vários intervenientes no processo, falta de qualidade, falta de segurança e más condições de trabalho (AECOPS, 2007). Desde o seu aparecimento, a LC tem evoluído como uma entidade própria, seguindo um rumo particular, não tendo no entanto uma implementação como a desejada. O seu objectivo principal, é tal como se verificou noutras indústrias, obter uma melhoria de produtividade e bons resultados económicos, resultando no aumento de valor para o cliente e ao mesmo tempo do lucro para a empresa (Howell, 1999).

Nos projectos de construção, a incerteza aumenta proporcionalmente ao número de participantes, incluindo o proprietário, o projectista, o empreiteiro geral e os subempreiteiros. Shuquan e

Kongguo (2008), sugerem que a coordenação é um método eficaz para minimizar o impacto da incerteza.

Chittla (2002), parafraseado por Nuno (2011), enuncia que, de uma forma ou de outra, a LC tem as seguintes características:

- Conjunto claro e definido de objectivos para o processo de fornecimento, com bom entendimento das necessidades e requisitos do cliente;
- Equipas de projecto e do processo de construção a funcionar de forma cruzada e concorrencial para fornecer mais valor ao produto – potencia a interacção positiva;
- Possibilidade de alterar o trabalho ao longo da cadeia de fornecimento de forma a reduzir a variação e ir de encontro à quantidade e conteúdo específico do trabalho;
- Estruturar o trabalho para todo o processo para aumentar o valor e reduzir o desperdício ao nível da execução do projecto. Desenvolver esforços para melhorar a *performance* ao nível do planeamento para aumentar a *performance* ao nível da execução do projecto.

Koskela (1992), resumiu o LT em onze princípios aplicáveis à LC, à semelhança dos que foram descritos anteriormente para a LP:

- Eliminar as actividades que não acrescentam valor (desperdício);
- Considerações sistemáticas dos requisitos do cliente, de modo a aumentar o valor final do produto – o cumprimento dos requisitos gera valor, mas é necessário identificar e clarificar os requisitos;
- Reduzir a variabilidade - um produto uniforme é melhor do ponto de vista do cliente e a variabilidade aumenta a quantidade de actividades que não acrescentam valor;
- Reduzir tempos de ciclo – através da eliminação de inventários e descentralização na hierarquia organizacional;
- Simplificação da produção, eliminando passos ou procedimentos desnecessários;
- Flexibilidade de toda a produção, através de equipas multi-especializadas para repetição de processos e modulação adaptável;
- Aumentar a transparência do processo, facilitando o controlo por parte dos responsáveis, melhorando a *performance* dos trabalhadores;
- Foco no controlo de todo o processo, para optimização do fluxo de trabalho, através de equipas autónomas e planeamento a longo prazo com os fornecedores;
- Melhoria contínua do processo de forma a reduzir o desperdício e a desenvolver continuamente actividades que acrescentam valor.
- Equilíbrio entre os processos de conservação e melhorias de fluxo, sendo que um fluxo melhorado origina menor investimento em equipamento.

- *Benchmark* – sabendo os pontos fortes, as fraquezas, as oportunidades e as ameaças à organização (análise SWOT), conhecendo os líderes da indústria e as suas práticas, incorporando as boas práticas na organização e criando um nicho que combine os pontos fortes existentes com as práticas externas.

Koskela e Bertelsen (2004), afirmam que não se vão utilizar apenas as ferramentas *Lean* para a manufactura, pretende-se desenvolver igualmente novos princípios *Lean*, que vão combater as principais dificuldades existentes na construção. Definiu assim cinco princípios para um sistema de controlo de produção:

- Trabalho deve ir ao encontro dos seus pré-requisitos;
- A realização dos trabalhos é medida e monitorizada;
- Causas de não realização são investigadas e removidas;
- Informação de tarefas não atribuídas;
- No planeamento, os pré-requisitos das atribuições de tarefas estão activamente preparados.

Nesta dissertação os princípios *Lean* que foram adoptados encontram-se descritos no capítulo 2.6.1.

Para Howell e Koskela (2000), a gestão de projecto corrente revela-se insuficiente por diversas razões: desconsidera-se a incerteza presente na abrangência e nos métodos do projecto; considera-se a relação entre actividades simples e sequencial, quando na realidade é muito mais complexa; as fronteiras das actividades são tidas como rígidas, mas na verdade raramente o começo de uma actividade está em função da de cima; existe uma preocupação com o resultado obtido em cada actividade fazendo com que haja uma perspectiva egoísta de melhoria para cada uma, sem existir preocupação com o impacto que possa ter nas restantes ou no processo global; a gestão de produção está excluída da gestão de projecto.

De forma diferente, pela abordagem *Lean*, na gestão de projecto desenha-se um sistema de controlo que tenta garantir que o plano é concretizado. O próprio sistema estabelece-se como uma moeda de duas faces que vai girando entre planeamento e controlo da produção. Um conceito chave da LC na fase de execução é de que uma tarefa só deve ser iniciada – ou colocada no planeamento semanal – caso tudo o que seja necessário para a concluir com sucesso esteja previamente resolvido. No caso de uma tarefa não ser realizada o sistema recebe rapidamente *feedback*. Logo, a causa pode ser identificada e ser seguido o rasto desta até à raiz do problema. Com esta informação a gestão pode tomar medidas preventivas e correctivas, podendo utilizar a informação reportada para melhorar o processo de planeamento (Ballard e Howel, 1998).

Passamos assim de uma gestão reactiva para uma pró-activa. Tradicionalmente na construção parte-se o projecto no início, de forma discreta, em tarefas que tentam ser geridas e optimizadas de forma individual. Mas esta perspectiva de planeamento, embora possa parecer fazer sentido, torna-se

insuficiente e raramente se consegue traduzir uma situação real, visto que se desconsidera a maioria das relações complexas entre tarefas, sendo essas tarefas que fornecem a grande variabilidade (Ballard e Howel, 1998).

Segundo Howell e Koskela (2000), o planeamento *Lean* é uma redução progressiva da incerteza de forma a assegurar que as tarefas a executar estão livres de constrangimentos, sendo feita a sua análise segundo as categorias de subfluxos já referidas. Daí resulta que cada vez será menor a variação do fluxo de trabalho, reduzindo assim custos e prazos. O custo desce porque um fluxo de trabalho previsível permite entregas JIT das encomendas e uma diminuição do desperdício, a duração é reduzida devido a uma melhor sincronização dos trabalhos com a mão-de-obra e recursos.

2.5.4. TRANSFORMAÇÃO, FLUXO E VALOR

Koskela (2000) lança as bases para uma teoria de produção e demonstra a sua aplicabilidade no ramo da construção. A construção deve ser entendida não só como processo de transformação, como acontece na indústria de conversão convencional, mas também em termos de fluxo de trabalho e criação de valor. Esta teoria foi denominada de teoria de produção TFV – Transformação, Fluxo e Valor.

A transformação pretende alcançar uma optimização do funcionamento, isto é, engloba um estabelecimento de parâmetros e processos de qualidade e segurança e uma gestão do elevado número de contractos que a construção envolve.

O Fluxo introduz novas actividades de gestão, sendo que uma delas é o aumento da colaboração e interacção entre o empreiteiro geral e os subcontratados, entre os produtores e os fornecedores dos materiais e toda a logística envolvida.

O Valor pretende que desde as primeiras fases do projecto até ao final os requisitos do cliente sejam alcançados da melhor forma possível (Koskela e Bertelsen, 2004).

2.5.5. MAPEAMENTO DE FLUXO E VALOR – MFV (*VALUE STREAM MAPPING*)

O mapeamento de fluxo e valor (VSM) é o mapeamento de todas as etapas da produção, desde a matéria-prima até ao produto final para o consumidor (Rother e Shook, 1998). É uma ferramenta de aplicação comum em implementações *Lean* na procura e eliminação de tarefas e etapas que não agregam valor ao processo de uma organização, contribuindo assim para uma melhoria contínua, que é um dos princípios fundamentais da filosofia *Lean* (Rother e Shook, 1998).

Esta ferramenta (Figura 2.7) tem como objectivo atingir eficiências nos processos produtivos, através da eliminação de desperdício que por consequência aumenta a *performance* das equipas de trabalho, reduz tempos de ciclo, custos e inventários (Vonderembse *et al.*, 2006).

Para implementação dos princípios *Lean*, recorre-se muitas vezes a esta ferramenta, que é aplicada da seguinte maneira: em primeiro lugar escolhe-se o processo que se pretende tornar mais eficiente, seguido pela elaboração do mapeamento do estado actual do processo, em segundo lugar com o mapeamento traçado e desenhado, faz-se uma análise do processo identificando as fraquezas e

os pontos onde existe desperdício, propondo as alterações para melhoria dos aspectos negativos encontrados. Em terceiro lugar elabora-se um mapeamento do estado futuro previsto, tornando-se este mapa a base para as mudanças necessárias, e por fim implementam-se as propostas medindo e concluindo o novo processo. Depois verifica-se se as alterações efectuadas trazem ou não benefícios ao processo (Abdulmalek e Rajgopal, 2007).

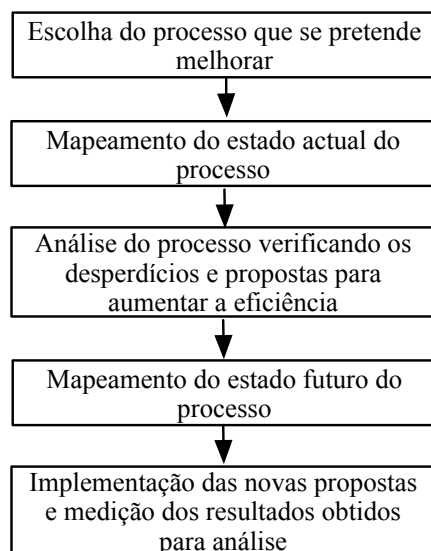


Figura 2.7 - Esquema MFV

2.5.6. KAIZEN

Kaizen é uma palavra de origem japonesa com o significado de melhoria contínua, na procura da perfeição. É um processo cíclico que proporciona uma melhoria contínua do desempenho dos processos e sistemas de trabalho. Pode envolver pessoas, equipamentos ou materiais.

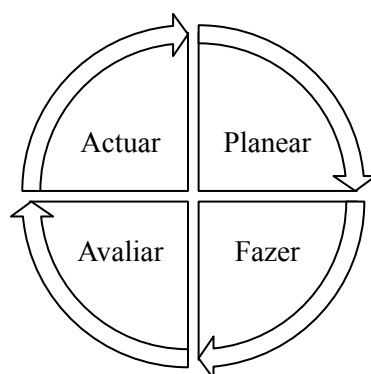


Figura 2.8 - Ciclo Kaizen

2.5.7. 5 S

O objectivo desta metodologia é conseguir um local de trabalho organizado, encorajar a auto-disciplina melhorar a qualidade e segurança do mesmo. Assim os 5 S's significam (Seddon, 2005):

- Seiri (senso de utilização): eliminar instantaneamente as coisas desnecessárias, arranjar ou reorganizar;
- Seiton (senso de organização): por em ordem a localização dos elementos utilizados para que estejam sempre ao alcance do utilizador, para que este não tenha que fazer movimentações desnecessárias;
- Seiso (senso de limpeza): limpar conforme o original;
- Seiketsu (senso de padronização): padronizar os trabalhos e organização de todos os espaços;
- Shitsuke (senso de autodisciplina): garantir a sustentabilidade de todo o sistema.

2.5.8. PRODUÇÃO CELULAR

Consiste em agrupar equipamentos e áreas de trabalho pelas suas semelhanças, de forma a manter um fluxo constante e contínuo do produto ao longo do processo, originando diversos benefícios (Abdulmalek e Rajgopal, 2007):

- Redução de inventários;
- Redução de transporte e manuseamento de material e produtos;
- Melhor aproveitamento de espaço;
- Redução no tempo de produção;
- Aumento na facilidade de identificação de problemas;
- Melhoria de comunicação e trabalho de equipa;
- Aumento da flexibilidade.

2.5.9. LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

Em 2000, Glenn Ballard, divulga a sua tese de doutoramento, com o título “*The Last Planner System of Production Control*”, em que propõe o *Last Planner System* (LPS) como forma de tratar as operações de planeamento e de controlo a curto prazo. O seu objectivo é assegurar, através de diversos procedimentos e ferramentas, que todos os pré-requisitos e condicionamentos para uma dada actividade foram verificados antes de se iniciar a mesma de forma a permitir que esta seja cumprida sem perturbações e concluída de acordo com o planeado.

Na (Figura 2.9), podemos ver o esquema de criação de tarefas com base no LPS. Este sistema tem em consideração o que pode ocorrer (*can*) devido às condicionantes da frente de obra, com o que deve ocorrer (*should*) vindo do planeamento geral. Os dados destas áreas são então combinados por forma a definir o que vai ocorrer realmente em obra (*will*) (Matias, 2010).

Este processo é característico de um sistema *pull*, que pode ser definido, segundo (Ballard, 2000), como quando as tarefas têm necessariamente que cumprir critérios de qualidade no contexto da definição, solidez, sequência e dimensão da tarefa, em contraponto com o sistema *push* da construção tradicional, definido por Ballard e Howell (2003), como sendo a tarefa que é dada a um especialista

baseada no planeamento geral, sem respeito à capacidade do especialista para executar fisicamente a tarefa ou à condição do trabalho ser executado.

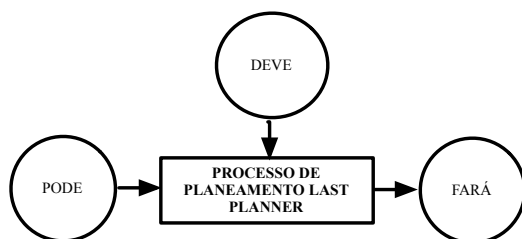


Figura 2.9 - Last Planner System é um sistema *Pull*

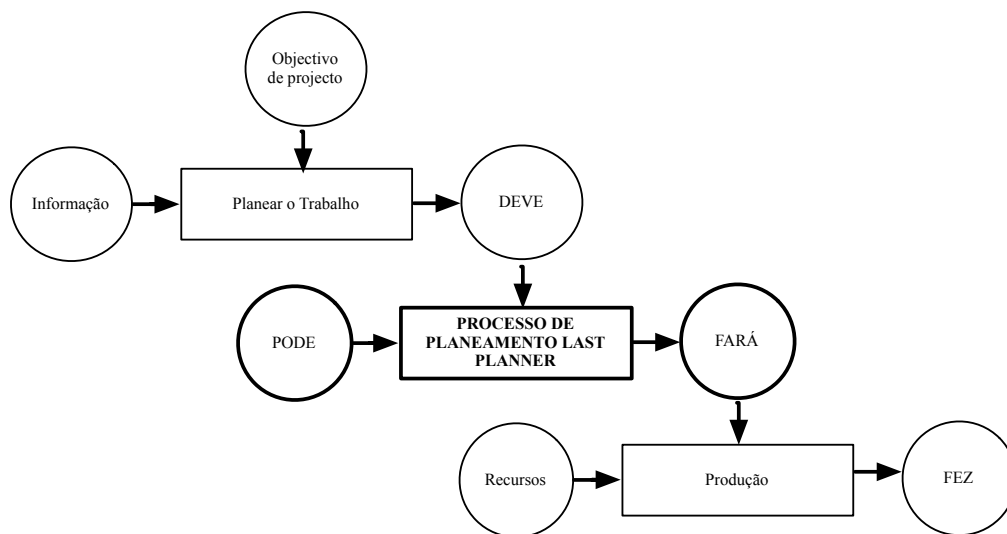


Figura 2.10 - Fluxograma do processo do LPS (adaptado Ballard, (2000))

O LPS permite também que o processo de planeamento atravessasse toda a cadeia de produção, desde o engenheiro que trata duma fase do planeamento semanal, o *weekly work plan* (WWP) assim como os encarregados e responsáveis das subempreitadas são importantes no processo de planeamento (Ballard e Howel, 2003). Este conceito permite que se consiga ter os trabalhadores que realizam efetivamente, o trabalho de execução e de montagem, a fiscalizar e a melhorar o planeamento no que diz respeito à sua qualidade (Ballard e Howel, 1998). Assim as áreas abordadas no WWP têm como principais objectivos seleccionar a melhor sequência de realização das actividades, a quantidade correcta de actividades a realizar e seleccionar as tarefas que podem ser realizadas nessa semana.

Uma outra técnica presente no LPS é o *Percent Plan Complete* (PPC), que representa a percentagem do plano de trabalhos que foi completado. O PPC é o rácio entre as actividades concluídas e actividades planeadas, expresso como uma percentagem (BALLARD, 2000).

2.5.10. REUNIÕES DIÁRIAS COM TRABALHADORES

Koskela (2000) afirma que o objectivo desta técnica é abrir as vias de comunicação em dois sentidos, com o fim de perceber se as pré-condições, em termos de detalhes de projecto, componentes e materiais, trabalhadores, equipamentos, espaço físico, trabalhos de ligação de actividades e condições externas para a execução das tarefas diárias estão reunidas para se poder começar as actividades

programadas para o dia. Segundo (Salem *et al.*, 2004) as reuniões diárias incluem os responsáveis das tarefas a realizar no dia, sendo que estas reuniões não tomam mais de dez minutos para rever o planeamento diário, questões de segurança e arrumar o espaço de trabalho.

2.6. SINERGIAS BIM-LEAN

A LC e o BIM estão a provocar mudanças fundamentais na indústria AEC (Sacks *et al.*, 2010). Apesar de serem conceitos diferentes e separados parecem existir sinergias entre eles, contudo a sua adopção paralela na prática da construção ainda é fonte de alguma confusão, quanto ao seu impacto e eficácia (Sacks *et al.*, 2009).

Como referido no capítulo 2.3., o BIM enquanto processo apresenta características que estão intrinsicamente ligadas com a eliminação de desperdício na construção e fomentam o fluxo dos processos, estimulando assim a implementação de princípios *Lean* (Sacks *et al.*, 2009).

O BIM *Handbook* refere que o BIM fornece a base para novos recursos da indústria da construção, e provoca mudanças fundamentais nos papéis e relacionamento entre as equipas de projecto. A utilização de modelos 3D para visualização do estado do processo e futuras direcções, disponibilizados a todos, traz elevados benefícios para uma melhor implementação dos princípios *Lean* (Galsworth, 1997). A utilização destas ferramentas promove a capacidade daqueles que trabalham no local de gerir o fluxo de operações no dia-a-dia, reduzindo assim a necessidade de controlo directo de níveis superiores de gestão, aumentando a qualidade do trabalho e reduzindo o desperdício (Sacks *et al.*, 2010).

O BIM proporciona uma oportunidade da indústria da construção reforçar as tecnologias de e informação e comunicação (TIC), que segundo Sacks *et al.*, (2009) é a grande oportunidade de reforçar os processos no núcleo da construção. Até à data os resultados de grande parte do investimento da indústria da construção nas TIC tem sido menos que satisfatório. Muito ênfase tem sido colocada em soluções que se concentram principalmente em questões periféricas, em vez de processos chave. (Sacks *et al.*, 2010).

Na construção, para formar uma visão coerente do estado do fluxo de um projecto, requer o conhecimento e interpretação de dados de monitorização recolhidos de várias fontes. Recorrendo a ferramentas BIM é possível integrar todos os dados recolhidos e fazer a gestão desta informação (Sacks e Radosavjevic, 2011). Estas ferramentas terão em conta as relações entre os diferentes processos, assim como as precedências de cada um deles e ainda o controlo das actividades realizadas, por realizar e ainda a realizar (Sacks e Radosavjevic, 2011). Segundo Sacks *et al.* (2009), o BIM proporciona as bases para a evolução do processo de construção e profundas mudanças no relacionamento e papéis entre uma equipa de projecto.

Numa outra tentativa de integrar os processos da LC com o BIM, Khanzode *et al.* (2005) ligou VDC com a entrega de processos *Lean Production System*, os resultados confirmaram que a aplicação do VDC com a *Lean* aumenta a entrega de processos da LP. Sacks *et al.*, (2010) afirma que o uso de

tecnologia BIM permite um sistema do tipo *pull* do fluxo de trabalho, reduzindo assim a variabilidade dentro dos processos de construção.

O projecto do hospital *Sutter Health Castro Valley*, um projecto de 320 milhões de dólares, foi baseado na experiência anterior da equipa de projecto, na utilização de um sistema integrado BIM-*Lean* noutros projectos, como é o caso do hospital *Camino* (Eastman *et al.*, 2011). Cada um dos projectistas envolvidos utiliza um sistema BIM à sua escolha para a realização dos projectos da sua especialidade e detalhar as peças. Os vários modelos de cada um dos projectistas intervenientes em obra, são depois integrados utilizando o *software* de colaboração e coordenação, e o modelo testado para detectar eventuais conflitos. A equipa utiliza ainda ferramentas *Lean*, como é o caso de VSM, para monitorizar e melhorar os processos dos vários projectistas, com o objectivo de minimizar os tempos de ciclo (Eastman *et al.*, 2011).

Neste projecto foi então definido um sistema integrado entre BIM-*Lean* e os resultados positivos demonstrados até à data, demonstram que uma gestão integrada deste tipo, combinando estas duas áreas, permitem alcançar inúmeros benefícios.

Gilligan e Kunz (2007) parafraseado por Sacks *et al.* (2009) relataram que o uso de VDC num projecto anterior, contribuiu directamente para a implementação de métodos da LC “*A interacção precoce entre equipas de projecto e de construção dirigidas pelo proprietário do Hospital Sutter Health Castro Valley, utilizando projectos integrados combinando métodos da LC com modelos 3D, permitiu capitalizar valores de quase US 6\$M*”. A abordagem colaborativa dos princípios *Lean*, ligada a um sistema de gestão do conhecimento eficaz e BIM, facilitaria opções de projecto e de engenharia, baseado em alternativas que permitem desenvolver um conhecimento prévio, sobre os projectos e alternativas disponíveis dentro da equipa de projecto.

Eastman *et al.* (2011) forneceram dez estudos detalhados de casos de implementação BIM, dois dos quais se focam na utilização da pré-fabricação. No contexto de projectos detalhados para fabricação e entrega pelos fornecedores subcontratados dos elementos pré-fabricados, eles comentam que: “*as técnicas da LC requerem uma coordenação cuidadosa entre o empreiteiro geral e os subcontratados de forma a garantir que o trabalho pode ser executado quando os recursos apropriados estiverem disponíveis no local*”. Devido ao BIM fornecer um modelo preciso de projecto e dos recursos necessários para cada segmento de obra, fornece assim a base para uma melhor planificação e programação das subempreitadas e ajuda a garantir uma chegada JIT de pessoas, materiais e equipamentos.

2.6.1. ANÁLISE DAS INTERLIGAÇÕES ENTRE LEAN E BIM

Vários autores forneceram listas de princípios *Lean*, baseadas tanto na literatura sobre LP (Liker, 2003); (Schonberger, 1996), (Womack e Jones, 2003) como sobre a LC (Koskela, 1992) (Koskela, 2000). Neste contexto, torna-se também importante mencionar os catorze pontos de Deming (Anexo IV), com base numa abordagem de qualidade. A seguir, apresenta-se uma lista que foi especificamente compilada para a análise das interligações entre *Lean* e BIM (Sacks *et al.*, 2009).

- Reduzir variabilidade: contempla dois objectivos. Do ponto de vista da qualidade assume-se como uma redução na variabilidade nas características significativas dos produtos; do ponto de vista de produção assume-se como uma redução na variabilidade temporal do fluxo de produção (Hopp e Spearman, 1996).
- Redução de tempos de ciclo: a redução dos tempos de ciclo está intrinsecamente ligada com o *work-in-progress* (WIP) e é mais ou menos equivalente à redução de *stocks*. Na construção, a redução dos tempos de ciclo deve ser focada em vários níveis de análise: duração total da construção, fase em que se encontra, fluxo de materiais (da fábrica para a obra) e tarefa.
- Reduce batch sizes: está ligado com o fluxo de peça única, é uma técnica eficaz para reduzir os tempos de ciclo. Na construção pode ser definido como conjuntos de tarefas que são realizadas em espaços distintos, Sacks e Warszawski (2000), defende que estes conjuntos de tarefas devem ser simplificados.
- Aumentar a flexibilidade: aqui a flexibilidade está ligada com a eficiência e eficácia das equipas de trabalho. A flexibilidade reduz tempos de ciclo e simplifica a produção. Na construção equipas multi-qualificadas são um exemplo de como obter tempos reduzidos de instalação, aumentar a flexibilidade de rotação entre equipas e assim diminuir os tempos de ciclo.
- Seleccionar uma abordagem de controlo de produção adequada: na realidade a maioria dos sistemas de controlo de produção são sistemas *push-pull*, a tarefa é seleccionar qual o melhor método para cada fase da construção (Huang e Kusiak, 1998). Na construção o sistema *push* é realizado através de planos e programações, em que o plano empurra uma tarefa a ser iniciada após outra ter acontecido. Esta visão da produção pode levar a que haja trabalho a ser executado antes de ser necessário, o que pode criar problemas tais como utilização de recursos em algumas actividades que seriam melhor empregues noutras, ou excesso de pessoal num mesmo espaço, ou trabalho refeito devido a mudanças subsequentes. No sistema *pull* como é o caso do *Last Planner System* (LPS), que basicamente define que uma actividade não é realizada até que seja necessário devido a uma actividade que a sucede. O LPS utiliza uma perspectiva “pode acontecer”, que liberta apenas trabalho que pode ser executado em contraste com a perspectiva “devia acontecer” (Howell, 1999).
- Padronização: a padronização do trabalho serve vários objectivos, tanto a duração temporal como a variabilidade do produto podem ser reduzidas.
- Melhoria contínua: através desta a variabilidade pode ser reduzida e a tecnologia melhorada.
- Gestão visual: a visualização do processo de produção permite a percepção por parte dos trabalhadores do estado do processo e de medidas de melhoria deste.
- Desenho do sistema de produção para fluxo e valor: o sistema de produção deve apoiar o controlo e melhoria contínua do mesmo.

- Garantir uma captura abrangente dos requisitos: este é o primeiro conceito a abordar o conceito de valor. Para gerar valor é necessário uma captura abrangente dos requisitos. Na prática esta é uma fase problemática.
- Foco na selecção da solução: deve ser dado especial importância ao desenvolvimento e avaliação de soluções diferentes e só depois passar para o detalhe dessa solução.
- Nivelamento da produção (*flow-down*): é preciso assegurar valor em todos os requisitos do fluxo, até aos processos mais pequenos onde são concebidos as partes mais pequenas do produto.
- Verificar e validar: este é um bem conhecido de modelos de sistemas de engenharia, que relembra que todos os projectos e produtos devem ser verificados em relação às especificações e validados em relação aos requisitos do cliente.
- Ir e ver por nós mesmo: este princípio salienta a importância da observação pessoal, em vez de relatórios e boatos (Liker, 2003). Embora a tendência tradicional da construção seja de resolver problemas *in situ*, este princípio tende a enfatizar a importância de visitas à obra por parte dos gerentes e estimadores.
- Decidir por consenso: considerar todas as opções, este princípio deriva do TPS (Liker, 2003). Ao alargar o círculo de intervenientes para a tomada de decisões, o número de opções consideradas aumenta e assim a probabilidade de encontrar a melhor solução também.
- Cultivar uma rede alargada de parceiros: este princípio sugere que seja criada uma rede alargada de parceiros. Em construção pode acontecer por parcerias.

De seguida para uma melhor sistematização dos princípios descritos atrás, apresenta-se um quadro (Quadro 2.1) resumo com as áreas e respectivos princípios *Lean* associados.

Quadro 2.1 - Princípios *Lean* (adaptado Sacks *et al.* (2009))

| Área | Princípio |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fluxo de processos | <p>Reduzir variabilidade</p> <p>Obter qualidade à primeira vez</p> <p>Reduzir variabilidade na produção</p> <p>Reduzir tempos de ciclo</p> <p>Reduzir duração dos ciclos de produção</p> <p>Reduzir inventários</p> <p>Reduce batch sizes</p> <p>Aumentar flexibilidade</p> <p>Utilização de equipas multi-qualificadas</p> <p>Reduzir tempos de passagem de cada equipa</p> <p>Controlo de produção</p> <p>Sistema <i>pull</i></p> <p>Nivelamento da produção</p> <p>Padronização</p> <p>Melhoria contínua</p> <p>Gestão visual</p> <p>Visualização do método de produção</p> <p>Visualização do processo de produção</p> <p>Desenho do sistema de produção para fluxo e valor</p> <p>Simplificar</p> <p>Utilizar apenas tecnologia de confiança</p> <p>Garantir a capacidade do sistema de produção</p> |
| Processo de geração de valor | <p>Garantir uma captura abrangente dos requisitos</p> <p>Foco na selecção da solução</p> <p>Nivelamento da produção</p> <p>Verificar e validar</p> |
| Resolução de problemas | <p>Ir e ver por nós mesmo</p> <p>Decidir por consenso - considerar todas as opções</p> |
| Contactos | Cultivar uma rede alargada de parceiros |

De seguida, serão identificados os aspectos chave relevantes das funcionalidades que a tecnologia BIM fornece para a compilação, edição, análise e comunicação de informação de projectos de construção. A tecnologia fundamental que serve de base a todas as funcionalidades partilhadas por

ferramentas BIM é a modelação de objectos de acordo com restrições paramétricas (Sacks *et al.*, 2009).

A modelação de objectos implica o uso de *software*, que reúna grupos de dados e métodos para manipular os objectos, de forma a representar conceitos do mundo real. Os conceitos podem ser físicos, tais como partes de um edifício, ou abstractos, como uma estimativa de custo ou o resultado de uma análise estrutural (Turk *et al.*, 1994).

As restrições paramétricas que são aplicadas às instâncias do objecto resultante do modelo, permitem a expressão e aplicação de regras que regem a forma como os objectos se comportam quando manipulados, de modo a que possam ser programados para responder às acções sobre os mesmos da forma que esperaríamos que se comportassem no mundo real (Tolman, 1999).

Em suma, é esta tecnologia que permite às ferramentas BIM modelar a forma, função e comportamento dos edifícios, e torna todos os aspectos descritos em baixo possíveis (Eastman *et al.*, 2011):

- Visualização da forma (para avaliação estética e funcional): todos os sistemas BIM permitem aplicar renderizações aos modelos com algum nível de realismo;
- Geração e avaliação rápida de várias alternativas do projecto: manipulação rápida do modelo utilizando as vantagens das relações paramétricas existentes, mantendo a coerência do desenho; análise da performance do edifício (análise estrutural, energética, térmica, etc.); custo estimado automático;
- Manutenção da integridade da informação e do modelo: as ferramentas BIM armazenam todas as informações relativas ao desenho uma só vez, e não como nos desenhos comuns onde a informação está espalhada por vários desenhos. Só assim é possível utilizar a ferramenta “*automatic clash-checking*” para identificar e remover potenciais conflitos no modelo;
- Geração automática de desenhos e documentos: um sistema BIM é aquele que propaga qualquer alteração realizada no modelo para os relatórios de forma automática, mantendo assim a integridade entre o modelo e os relatórios;
- Colaboração no projecto e na construção: é expressa através de dois caminhos, internamente, onde vários utilizadores de uma única organização ou especialidade editam o mesmo modelo simultaneamente, e externamente, onde vários modeladores observam simultaneamente o modelo conjunto ou separado por especialidade para a coordenação de projecto;
- Rápida geração e avaliação de alternativas ao plano de construção: geração automática de tarefas e precedências; simulação dos procedimentos e planos de construção; visualização 4D do estado do processo;
- Sistemas electrónicos de comunicação online: no presente a comunicação *online* é essencialmente limitada. Contudo, sistemas mais sofisticados que integram a informação dos processos através de ferramentas BIM, permitem criar visualizações do estado dos processos e do produto utilizando

modelos gráficos do edifício para entregar informação aos trabalhadores em obra. O *KanBIM* é um exemplo de um desses sistemas.

De seguida para uma melhor sistematização dos princípios descritos atrás, apresenta-se um quadro (Quadro 2.1) resumo com as áreas e respectivos princípios *Lean* associados.

Quadro 2.2 - Funcionalidades BIM (adaptado de Sacks *et al.* (2009))

| Etapa do processo | Área funcional e função |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Projecto | <p>Visualização da forma</p> <p>Avaliação estética e funcional</p> <p>Geração e avaliação rápida de alternativas de projecto</p> <p>Manipulação rápida do modelo</p> <p>Análise de desempenho</p> <p>Custo estimado automático</p> <p>Avaliação de conformidade de acordo com o programa/ valor para o cliente</p> <p>Manutenção da integridade da informação e do modelo</p> <p>Único ficheiro central com toda a informação</p> <p>Deteção automática de colisões</p> |
| Detalhes de projecto e fabricação | <p>Colaboração no projecto e construção</p> <p>Edição por multi-utilizadores de uma disciplina específica</p> <p>Visualização por multi-utilizadores de todas as especialidades juntas ou separadas</p> |
| Pré-construção e construção | <p>Rápida geração e avaliação de alternativas de projecto</p> <p>Geração automática de tarefas de construção</p> <p>Simulação de procedimentos e planos de construção</p> <p>Visualização 4D do estado do processo</p> <p>Online/ electronic object-based communication</p> <p>Visualização do estado do processo</p> <p>Fabricação controlada por computador</p> <p>Entrega de informação directamente na obra</p> |

2.6.2. SINERGIAS BIM-LEAN NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO

Os vários projectos de construção envolvem várias organizações trabalhando em simultâneo em ambientes congestionados. Estas organizações, que podemos denominar como todas as especialidades presentes num projecto de construção, perdem com os desperdícios, que se manifestam como tempos de espera para as equipas, trabalhos repetidos, movimento e manuseio desnecessário de mate-

riais, espaços de armazenamento e materiais não utilizados, etc. Para se conseguir um fluxo de trabalho regular com o mínimo de desperdício, exige-se não só um planeamento adequado da construção, mas também uma gestão eficaz da construção.

Como referido anteriormente a LT aplicada à construção permitiu o desenvolvimento de novos sistemas de controlo e planeamento para melhorar a situação actual, na prática o LPS e adaptações do mesmo são cada vez mais frequentes, segundo Koskela e Bertelsen (2004) permitem diminuir a variação, melhorar a coordenação e o fluxo de trabalho, e assim reduzir as diversas formas de desperdício nos projectos de construção e na construção em si. A utilização de modelos 3D contribui para a implementação destes princípios em obra (Sacks *et al.*, 2010).

Existe um número elevado de factores que torna difícil fazer a coordenação entre equipas contratadas, os fornecedores de materiais e equipamentos, os gestores da construção, os projectistas e a fiscalização. Sacks e Radosavjevic (2011) apontam os seguintes:

- A dispersão física das equipas dentro do edifício ou na obra, normalmente estão ocultas até pela própria estrutura;
- Grandes disparidades nas taxas de produtividade tornam difícil prever o progresso a curto prazo;
- Falta de relatórios em tempo real do progresso e estado da obra;
- Dependência de indivíduos chave para ficar ao corrente dos problemas e saber o estado da obra;
- Dependência de documentos em papel para comunicar informações sobre o produto, com as limitações de detalhe, clareza, e erros e omissões;
- Falta de ferramentas de coordenação e informação das diferentes especialidades;

Adoptando uma metodologia baseada nos princípios da LC e disponibilizando acesso a modelos BIM, provou potenciar os trabalhadores a gerirem o fluxo de processos de construção do dia-a-dia com maior confiabilidade e menor variabilidade.

Neste trabalho pretende-se implementar em obra uma metodologia deste tipo e analisar as potenciais sinergias BIM-Lean na construção e quais os seus benefícios em obras de manutenção de espaços públicos de grande utilização.

2.7. RESUMO DE ALGUNS CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo procedeu-se à revisão de alguns casos de estudo presentes na literatura. Os casos seguintes descrevem projectos onde o BIM foi utilizado durante a fase de construção. Este capítulo tem como objectivo explicar e clarificar como a tecnologia BIM é utilizada em casos reais de obra.

2.7.1. FLINT, MI – GENERAL MOTORS PRODUCTION PLANT

Fonte: *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (Eastman *et al.*, 2011).

Descrição do Projecto

A fábrica da Flint Motor abrange uma área de 68 000 metros quadrados e foi construída em 2000; este edifício foi complementado por um novo construído em 2006 e com uma área de 40 000 metros quadrados. O custo total do edifício foi de aproximadamente USD 202 milhões. O aspecto especial deste projecto foi que a *General Motors* (GM) estipulou critérios rígidos quanto aos prazos de projecto e de construção e para gerir estes critérios a GM decidiu utilizar tecnologia BIM durante todo o projecto.

Como foi utilizado o BIM na fase de construção

Foi utilizado um modelo BIM 3D e um fluxo de informação digital em vez dos desenhos comuns CAD 2D e fluxos de informação baseados em papel, conduzindo a reduções elevadas nos tempos de resposta e de alterações. O modelo BIM foi também utilizado para o processo de fabricação, em vez de se enviar aos fabricantes desenhos CAD 2D, estes lidaram com o modelo. O que originou, reduções nos custos de transformação e de entrega, uma vez que o modelo BIM não necessita de alterações. Neste projecto o BIM foi utilizado para:

- Colaboração BIM-3D;
- Detecção de colisões;
- Documentos *As-built*;
- Entrega JIT;
- Prefabricação.

Metodologia seguida

A metodologia adoptada está representada na Figura 2.11.

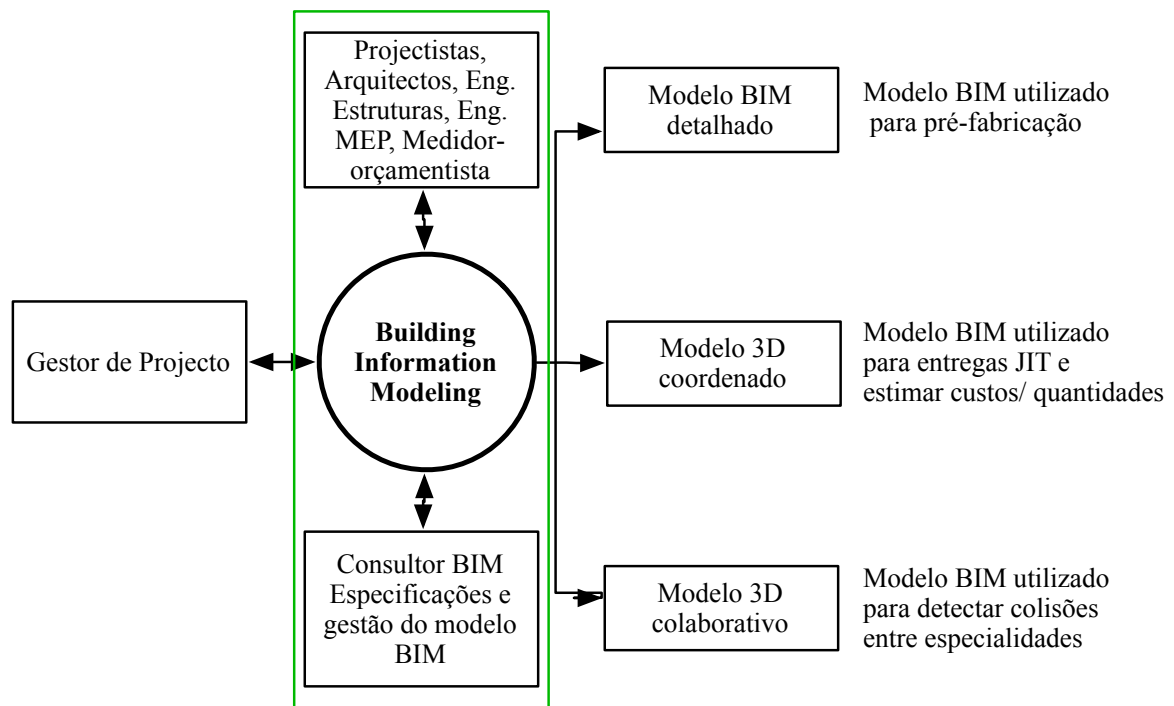


Figura 2.11 - Mapa de processo adoptado

Conclusões do caso de estudo

Durante a fase de construção, o modelo BIM permitiu elevados graus de materiais prefabricados, e pré-montagens de componentes. Isto devido ao desenvolvimento contínuo dos detalhes no modelo BIM. O modelo BIM contribuiu também para um movimento mínimo de pessoas e materiais no local da construção, o que aumentou a segurança no local da obra. O local da obra manteve-se também muito melhor organizado graças ao modelo BIM. Esta boa organização do local de construção está relacionada com a utilização do princípio JIT, que se torna mais fácil quando utilizado em conformidade com o BIM.

A utilização de um modelo BIM coordenado entre todos os intervenientes, permitiu detectar colisões na fase inicial do projecto. O fluxo de informação digital entre colaboradores e donos de obra, criou uma boa relação entre os mesmos, aumentando assim a colaboração entre eles. Esta colaboração por sua vez, resultou em tomadas de decisão precisas. As entregas JIT e a boa organização do espaço conduziram a uma redução do desperdício no local da obra.

2.7.2. MOUNTAIN VIEW, CA – CAMINO MEDICAL GROUP OFFICE BUILDING COMPLEX

Fonte: *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (Eastman et al., 2011).

Descrição do Projecto

O edifício é composto por uma área de 23 000 metros quadrados de escritório, 6000 metros quadrados de áreas médicas, como é o caso de laboratórios e salas de operações e cerca de 40 000 metros quadrados de garagens, com três pisos. O projecto custou aproximadamente USD 94.5 milhões e o projecto teve início em Outubro de 2003 e terminou em Abril de 2007. Foi o dono de obra, *Camino Medical Group*, que decidiu que o projecto teria de ser executado com recurso a BIM.

Como foi utilizado o BIM na fase de construção

O empreiteiro geral contratado para este projecto foi responsável pelo modelo BIM, pela selecção dos subcontratados, pela coordenação de todos os detalhes de projecto e de construção e por garantir que as metas relativas ao tempo, custo e segurança foram cumpridas.

Estas metas seriam cumpridas pela utilização de técnicas *Lean*, tais como: envolvimento precoce das várias equipas de especialidades na fase de projecto, uso extensivo de pré-fabricação e peças pré-montadas, bem como a utilização de um modelo 3D para a detecção de colisões, correcção e planeamento. Na fase de escolha dos subcontratados era exigida a capacidade de projectar em 3D, e nos casos em que não existisse um subempreiteiro com essa capacidade, os seus desenhos 2D foram posteriormente convertidos para 3D por um consultor externo.

O modelo BIM foi actualizado durante toda a obra, todas as semanas era convocada uma reunião pelo empreiteiro geral, com todos os responsáveis de cada equipa e os arquitectos para analisar o trabalho feito e preparar o trabalho para a semana seguinte, de forma a evitar conflitos. Toda esta coordenação era feita sobre o modelo BIM.

Neste projecto, a fase do projecto sobrepôs-se à fase de construção. Para que este processo fosse executado sem problemas, os subempreiteiros foram autorizados a iniciar os seus projectos ainda antes dos arquitectos e engenheiros terem terminado os seus. O planeamento desta sobreposição foi muito importante; quando os subempreiteiros entram em fases muito cedo do projecto, pode-se dar o caso de terem de voltar a projectar certas partes, no caso do dono de obra decidir alterar alguma zona específica, por outro lado, se chegarem demasiado tarde, poderá significar atrasos na construção. O planeamento realizado para este fim, mostrava todas as etapas da construção e quais os documentos de projecto necessários para cada fase. Este planeamento foi ligado a um outro, que era utilizado para encomendar materiais e peças pré-fabricadas. Isto permitiu que o processo de trabalho decorresse de uma forma mais estável e suave, especialmente no que diz respeito às entregas JIT.

A cooperação entre as empresas subcontratadas foi facilitada pelo estabelecimento de normas. O empreiteiro geral definiu que todos os subcontratados tinham de utilizar as mesmas escalas, tinham um ponto de referencia comum que era definido pelos arquitectos e que utilizavam formatos de arquivos compatíveis com o modelo 3D.

Metodologia seguida

Deu-se início ao planeamento e ao detalhe com recurso ao modelo 3D quando 50% e 95% do projecto estivesse desenvolvido respectivamente (Figura 2.12).

Foi necessário garantir que todos os envolvidos trabalhavam em 3D, de forma a garantir que o modelo 3D fosse o mais detalhado possível. Durante o decorrer da obra a maior parte dos problemas de construção que surgiram, foram devidos a inconsistências que ocorreram durante a conversão de desenhos 2D para o modelo 3D.

Eram realizadas reuniões uma vez por semana para debater situações de projecto, coordenação e construção, para se definir o planeamento para a instalação de componentes especiais do edifício, garantindo que todos os pré-requisitos destas actividades estão cumpridos e garantir a presença em obra e nestas reuniões dos responsáveis pela instalação destes componentes.

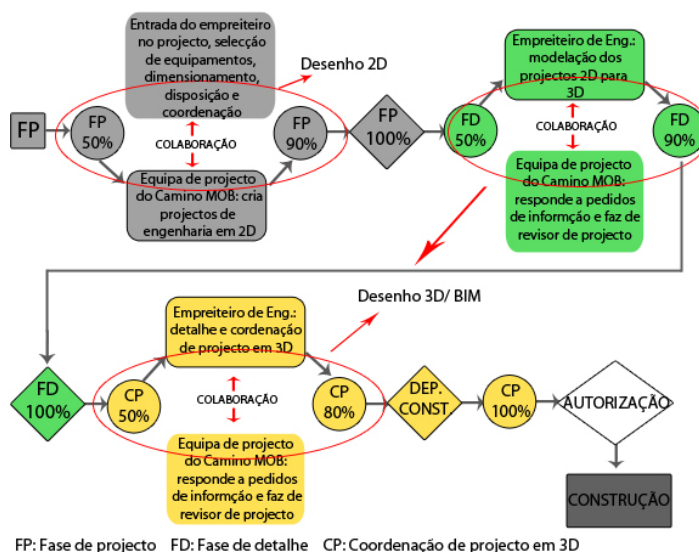


Figura 2.12 - Mapa de processo utilizado no *Camino MOB*

A Figura 2.13 representa a metodologia adoptada, na implementação BIM, desde a fase inicial do projecto até à fase de construção.

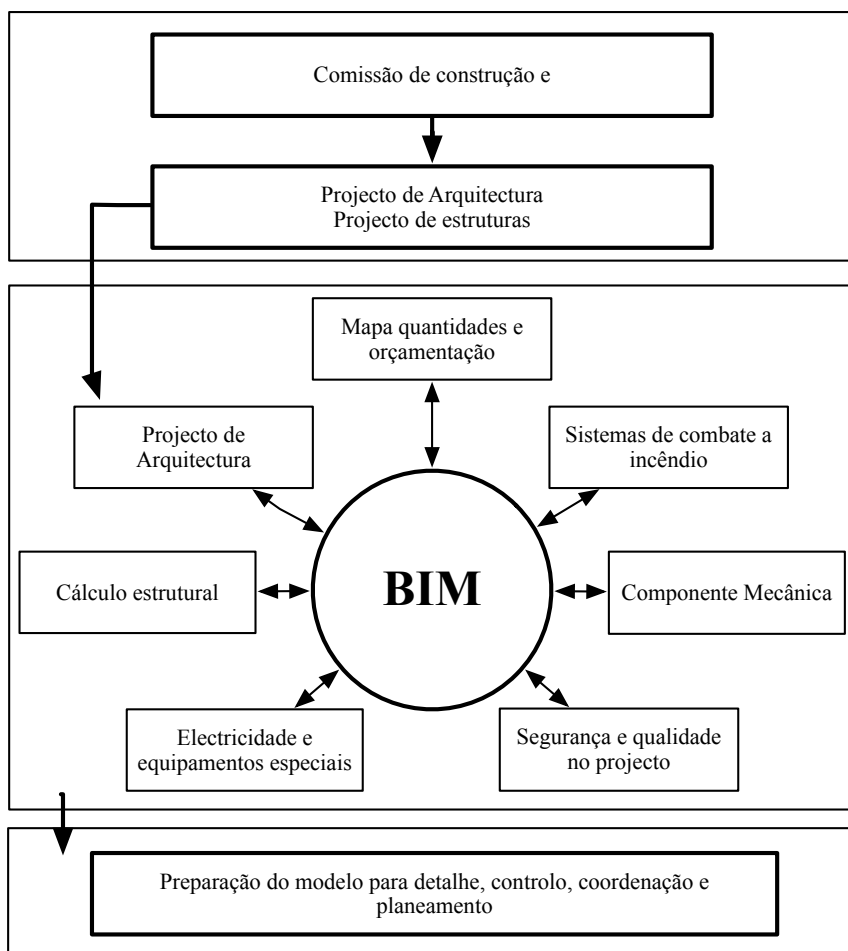


Figura 2.13 - Esquema de implementação BIM no *Camino MOB*

Conclusões do caso de estudo

Ao trabalhar com BIM o empreiteiro geral e os subcontratados, aperceberam-se que iriam ser capazes de construir o edifício de forma mais eficiente. Os benefícios resultantes foram:

- Maior facilidade no planeamento da logística e montagem dos elementos pré-fabricados;
- Melhor coordenação e cooperação entre os subcontratados;
- Os vários elementos e componentes da construção têm um melhor ajuste, necessitando de menos modificações em obra. Ocorreram apenas cinco ordens de alteração no local relacionadas com os sistemas MEP;
- Menos modificações na obra dos vários elementos e componentes das diversas especialidades;
- Apenas 41 de 25.000 horas de trabalho foram de trabalho repetido;
- Entregas de material JIT conduziram a menos tempo gasto em deslocação de materiais no local de obra;

- A tendência que os subcontratados querem ser os primeiros no local, para evitar choque dos seus trabalhos com os de outros, foi eliminado;
- Local de trabalho mais seguro, que por sua vez significa menos horas de trabalho prestado no local de construção, menos improvisação e melhor planeamento.

A utilização de um modelo BIM 3D ligado a técnicas *Lean* provou trazer inúmeros benefícios ao nível da rentabilidade como da poupança de tempo. Conseguiu-se aumento da eficiência de trabalho na ordem dos 15 a 30%, em comparação com os valores médio da indústria. Este aumento da eficiência resulta da optimização do processo de construção e da utilização num grau elevado de peças pré-fabricadas e pré-montadas. No capítulo 4 está descrito para o caso de estudo desta dissertação, a forma como através de uma implementação BIM se pode obter melhorias no fluxo dos trabalhos.

3. METODOLOGIA

3.1. ANÁLISE GERAL DA METODOLOGIA

Este capítulo explica o método científico seguido na realização deste estudo e efectua uma análise do caso de estudo escolhido.

De seguida são apresentadas as várias etapas percorridas com o intuito de responder à hipótese de estudo:

- Revisão bibliográfica;
- Caso de estudo;
- Modelação BIM do caso de estudo;
- Análise do modelo BIM;
- Análise das sinergias BIM-*Lean* possíveis;
- Análise VSM:
 - Elaboração do VSM do estado actual;
 - Optimização do processo de criação de valor;
 - Elaboração do VSM do estado futuro;
 - Análise de implementação do VSM futuro;
- Análise de resultados.

3.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Procuraram-se empresas responsáveis pela exploração de infra-estruturas públicas de grande utilização que tivessem interesse e disponibilidade para a elaboração de um modelo BIM dessa infra-estrutura pública, para controlo e estudo dos processos construtivos utilizados pelas empresas subcontratadas em obras de manutenção/ exploração. Foi solicitada autorização às empresas subcontratadas presentes na obra, para estudo dos seus processos construtivos e implementação de um modelo BIM-*Lean* no seu processo de construção.

A caracterização do funcionamento das empresas foi realizada através de visitas diárias à obra, análise documental e diálogo com os vários intervenientes no processo, tendo como objectivo a análise do estado actual das empresas de acordo com os seguintes parâmetros:

- Levantamento dos dados para o caso de estudo;
- Identificação das actividades e sua metodologia;
- Equipamento, mão-de-obra e materiais utilizados;
- Modo de planeamento e controlo.

A elaboração do modelo BIM foi realizada com recurso aos seguintes documentos:

- Conjunto de desenhos de arquitectura;

- Conjunto de desenhos de estrutura;
- Conjunto de desenhos das especialidades.

No período de 14 de Fevereiro de 2011 a 11 de Março de 2011 foram realizadas visitas a várias obras de manutenção/ exploração de diversas gares ferroviárias. A obra onde foi desenvolvido o caso de estudo foi a obra de substituição de parte da rede de cablagem numa Gare Ferroviária do Eixo Norte-Sul. Esta escolha deveu-se ao facto de ser a obra de maior dimensão e que permitiu analisar para o mesmo espaço duas equipas distintas a trabalhar em simultâneo.

Os intervenientes que possibilitaram a realização deste trabalho pertenciam a toda a hierarquia das diferentes empresas, desde os quadros superiores às equipas em obra.

Não é possível revelar o nome das empresas envolvidas devido à obrigatoriedade de garantir confidencialidade.

3.3. METODOLOGIA DE RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados e de informação foi realizada através de observação directa e monitorização dos processos de construção e práticas comuns utilizadas pelas empresas, do diálogo com os vários intervenientes no processo e de uma análise documental.

Para a elaboração do modelo BIM como referido anteriormente, foram disponibilizadas os vários conjuntos de desenhos em papel da gare ferroviária em estudo, e complementada por uma observação directa de situações pontuais.

3.3.1. OBSERVAÇÃO DIRECTA

Contempla todas as práticas utilizadas pelas empresas, sejam estas a nível de organização, procedimentos, segurança, maquinaria utilizada, gestão de recursos materiais e humanos e colaboração com outras equipas exteriores.

3.3.2. DIÁLOGOS

Os diálogos foram realizados com os vários intervenientes no processo, de forma a perceber-se quais as dificuldades comuns enfrentadas neste tipo de obras, e de que forma as ferramentas BIM e princípios *Lean* implementados contribuíram para uma melhor eficiência e eficácia dos processos utilizados. Sendo eles parte integrante do processo, indicam melhorias que poderiam otimizar os processos de trabalho. O guião utilizado nos diálogos pode ser consultado no Anexo I.

3.3.3. ANÁLISE DOCUMENTAL

A análise documental divide-se nas seguintes partes:

- Toda a documentação fornecida pela empresa que explora a gare ferroviária em estudo, para elaboração do modelo BIM 3D;

- Toda a documentação facultada pelas empresas intervenientes na obra de manutenção, de forma a poder complementar as informações obtidas por observação directa e diálogo.

3.4. ELABORAÇÃO DO MODELO BIM

Para permitir a identificação das sinergias BIM-*Lean* foi compilado um modelo BIM da Gare Ferroviária em questão. Foi dada especial importância no detalhe da área a ser intervencionada em obra, modelou-se para esta área a componente estrutural principal, a arquitectura e as especialidades relevantes para o caso. Como já referido anteriormente o *software* utilizado para criar o modelo BIM foi o Autodesk® Revit® Architecture e MEP.

3.5. ANÁLISE DO MODELO BIM

Efectuou-se uma análise de todo o processo de elaboração do modelo BIM, identificando-se as principais dificuldades encontradas. Posteriormente analisaram-se os benefícios que este modelo trouxe ao planeamento do trabalho e do tempo, à coordenação e execução das tarefas na obra e de que forma contribuiu para implementação dos princípios *Lean*, que melhor se adequam a este tipo de obras.

3.6. ANÁLISE DAS SINERGIAS BIM-LEAN POSSÍVEIS

Após um estudo profundo sobre os conceitos *Lean* e as ferramentas BIM, e respectivas sinergias, foram identificadas neste caso de estudo concreto os princípios *Lean* que melhor se adequam a esta obra. Com base nestes princípios e recorrendo ao modelo BIM foram identificados benefícios que este traz para a implementação destes princípios e se facilita ou dificulta esse objectivo, partindo sempre do pressuposto que a meta a atingir é eliminar desperdício e consequentemente diminuir prazos e custos de execução da obra.

3.7. ANÁLISE VSM

Para análise dos processos construtivos actuais utilizados pelas empresas de construção, recorreu-se à técnica *Lean* do VSM.

3.7.1. ELABORAÇÃO DO VSM DO ESTADO ACTUAL

Para se elaborar o VSM do estado actual do processo, foi executada uma análise em obra das actividades e do modo como foram realizadas, dos desperdícios existentes e condicionadores de um fluxo contínuo de valor.

3.7.2. OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE VALOR

Procedeu-se à análise do VSM do estado actual, com o intuito de identificar os processos que não acrescentam valor e diminuem o fluxo de produção. De seguida foi feita uma identificação e in-

interpretação dos princípios *Lean* e funcionalidades BIM a aplicar em cada fase do processo, de forma a otimizar o fluxo de processos e diminuir o desperdício.

3.7.3. ELABORAÇÃO DO VSM DO ESTADO FUTURO

De seguida foi elaborado o VSM futuro com base nas medidas de optimização do processo de criação de valor e implementado em obra.

3.7.4. ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DO VSM FUTURO

Por fim foi realizada uma análise dos benefícios e vantagens que a aplicação destas sinergias pode originar no modo de execução dos processos.

3.8. ANÁLISE DE RESULTADOS

Depois de implementadas e analisadas as modificações propostas, avaliou-se a adequabilidade e vantagem da aplicação das sinergias BIM-*Lean* nesta obra. Esta análise foi feita através da comparação entre os tempos de execução das tarefas antes e depois da aplicação destas ferramentas.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são analisadas as várias etapas seguidas na metodologia. Sob o ponto de vista BIM, é analisado todo o processo de elaboração do modelo, assim como os benefícios e dificuldades da mesma.

De seguida é analisado o contributo que o modelo BIM trás para implementação dos princípios *Lean* que melhor se adequam a este tipo de obras.

Por fim é apresentado um modelo para avaliar a aplicabilidade e benefícios que as sinergias BIM-*Lean* podem originar em obras de intervenção em infraestruturas públicas de elevada utilização. O modelo utilizado tem por base o VSM. Foi escolhida esta metodologia para implementar as melhorias porque é a forma mais fácil de análise e identificação de problemas e desperdícios.

4.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO



Figura 4.1 - Imagem 3D da gare ferroviária

Os sistemas MEP são projectos tecnicamente desafiantes e por vezes extremamente complexos, por exemplo, os hospitais, as indústrias, os centros de alta tecnologia, terminais de transportes, etc. A coordenação e encaminhamento destes sistemas possuem um carácter especial que exige maiores esforços por parte das equipas coordenadoras. Os sistemas MEP desenvolvem-se num espaço limitado e invisível e obedecem a critérios rigorosos de concepção, construção e manutenção (Eastman *et al.*, 2008).

A gare ferroviária em questão tem, como referido anteriormente um tráfego de utentes de cerca de 25000 por dia útil e o valor da obra foi aproximadamente 100 mil euros. As obras decorreram com a gare a funcionar normalmente, em horário diurno. O cerne do projecto inclui a substituição da rede de cablagem que permita a montagem de um sistema de controlo de acessos, permitindo o fecho de estação com um novo sistema de barreiras.

A gare ferroviária é constituída por uma estrutura em betão armado que serve de sustentação à plataforma ferroviária, constituída por duas lajes a diferentes cotas. Os caminhos de cabos encontram-se por cima dos tectos-falsos e constituem uma enorme malha de cabos.

Os tectos-falsos presentes encontram-se às cotas de 3,5 m e 2,5 m não sendo fácil o seu acesso. Na zona dos escritórios são constituídos por chapas metálicas que atingem em alguns casos os 4

metros de comprimento por 40 cm de largura. Na zona do átrio principal são constituídos por placas de gesso cartonado e por uma grelha metálica perfurada.

Através da Figura 4.2 verificamos que os sistemas MEP que servem de suporte à infraestrutura desenvolvem-se num espaço bastante limitado. Variando de 0,65 a 0,85 m no átrio central; nos escritórios é de 0,60 e 0,70 m no piso 0 e 1 respectivamente.



Figura 4.2 – Corte AA da área dos escritórios

4.2. PROCESSO DE TRABALHO

4.2.1. CRIANDO O MODELO BIM

Com recurso ao *Autodesk® Revit® Architecture* e MEP modelou-se 80% da gare ferroviária. A zona da sede, localizada a Norte, não foi modelada, já que não iria sofrer nenhuma intervenção, não sendo por isso relevante para o caso de estudo. A ausência de desenhos em formato digital, obrigou a modelação a ser feita do zero, com recurso apenas a desenhos em papel.

Começou-se em primeiro lugar por modelar a estrutura principal da gare ferroviária, servindo assim este modelo de base de coordenação para todos os outros criados ao longo do projecto. De seguida modelou-se a arquitectura (paredes, tectos-falsos, janelas, etc.). Nesta fase foram realizadas diversas visitas ao local para esclarecimentos pontuais através de observação directa e levantamento de medições. Por fim, para a modelação das infra-estruturas MEP, foi agendada uma reunião com o coordenador e responsável pelos trabalhos a realizar, para se aferir quais as especialidades que poderiam entrar em conflito com o projecto em análise, e qual o espaço que iria estar sujeito à intervenção. As conclusões desta reunião levaram a que fosse necessário modelar todos os caminhos de cabos existentes, toda a rede de energia principal, a rede de iluminação, a rede de incêndio, de AVAC, a rede de

dados e telecomunicações. Toda esta cablagem se encontrava tanto por cima dos tectos falsos, em caminhos de cabos, como em condutas no pavimento e em determinadas passagens fixa à estrutura.

A metodologia seguida para criar o modelo BIM 3D está representada na Figura 4.3.

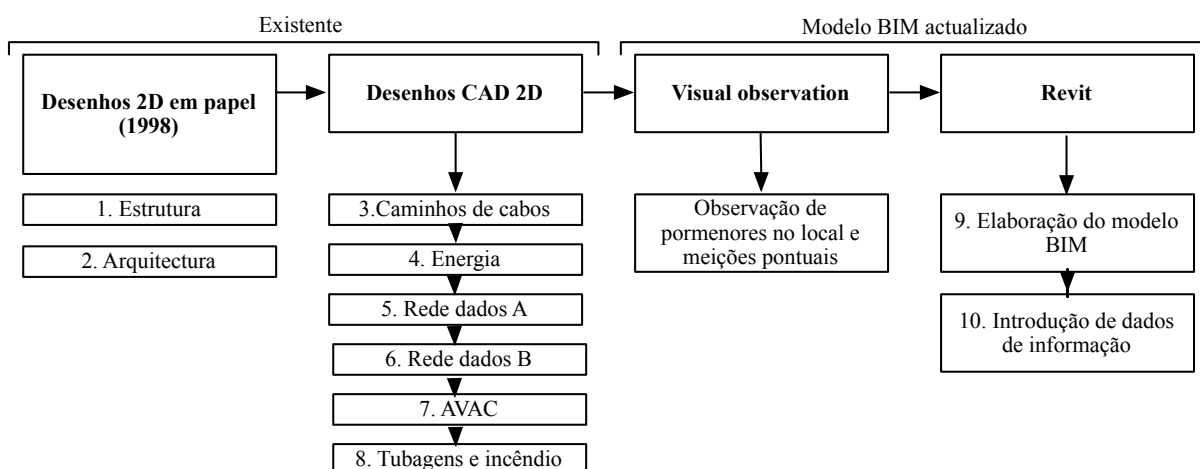


Figura 4.3 - Metodologia seguida para criar o modelo

Como se pode observar na Figura 4.3 depois de modelada a estrutura e a arquitectura, as especialidades foram modeladas sempre dos troços principais para os mais pequenos.

4.2.2. FLUXO DE INFORMAÇÃO

Uma das coisas que se tentou fazer neste projecto foi de garantir que toda as equipas envolvidas tivessem acesso à última informação actualizada, todos os dias no local. Estava assim garantido que todos tinham a mesma informação, actualizada e completa sempre que necessário. Isto conseguiu-se pela realização de uma reunião diária onde as equipas davam *feedback* dos trabalhos do dia anterior para actualizar o modelo, e verificavam no modelo as áreas a intervencionar durante esse dia.

4.2.3. PLANEAMENTO DO TRABALHO

O modelo foi basicamente uma ferramenta utilizada para coordenação dentro da equipa, e entre a equipa e o dono de obra. Sem plantas digitais das infra-estruturas e com prazos de execução curtos, foi de extrema importância ter um modelo 3D que permitisse identificar de forma rápida e directa as redes a substituir, as possíveis colisões e a geração rápida e automática de alternativas de projecto. Algo que era impossível fazer com os desenhos em papel existentes, pois eram opacos e de difícil sobreposição.

Os dados presentes no modelo ao adquirirem uma dimensão 3D torna fácil a visualização de todo o processo, o que possibilitou realizar uma análise geral da globalidade dos trabalhos a efectuar, levando assim a uma maior facilidade em estipular prazos de execução para as tarefas.

Além disso o modelo possibilitou ao dono de obra, mais facilmente, analisar e otimizar a posição de todas as infra-estruturas a serem intervencionadas neste trabalho e os novos traçados a efectuar.



Figura 4.4 - Imagem 3D com infraestruturas à vista

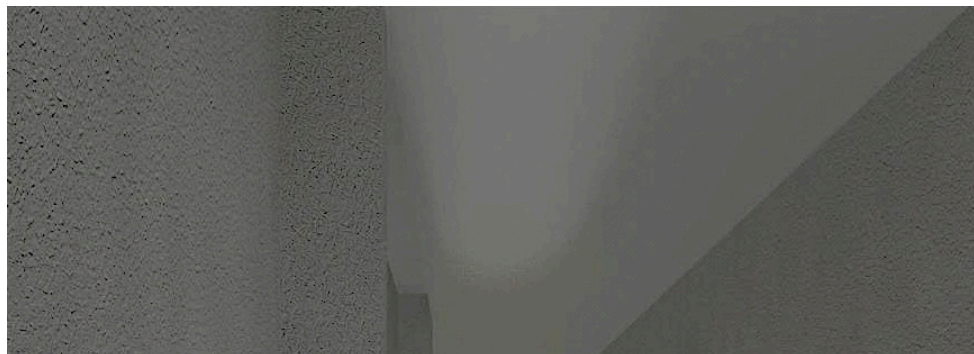


Figura 4.5 - Imagem 3D sem infraestruturas à vista

4.2.4. PLANEAMENTO DO TEMPO

Devido à não existência de qualquer suporte de planeamento, não se associou o modelo a nenhuma base de dados externa de planeamento.

4.2.5. UTILIZAÇÃO DO MODELO NA OBRA

No terreno o modelo foi utilizado como suporte de comunicação com os trabalhadores. Servindo para esclarecimento de dúvidas pontuais, através de *snapshots* de imagens visuais 3D de qualquer situação no local, como de fonte para o levantamento de medições, nem sempre exactas mas próximas da realidade. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: “*O modelo foi como uma mapa 3D do que não estava à vista, durante o decorrer dos trabalhos*”.

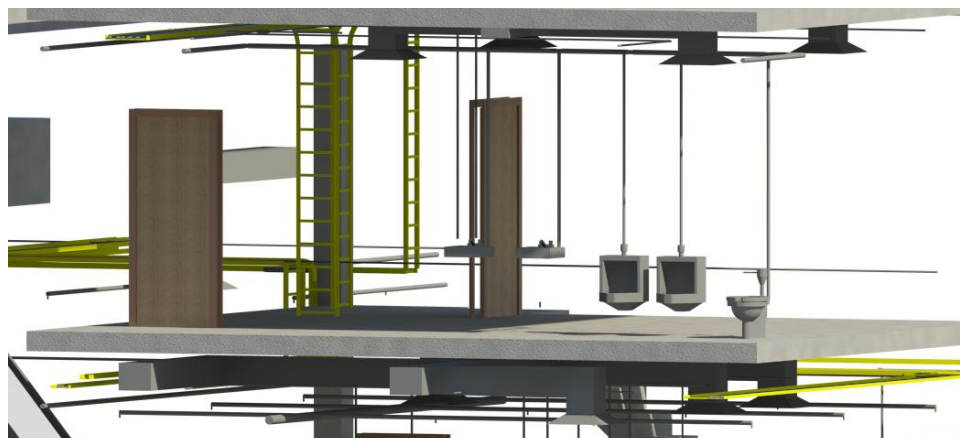


Figura 4.6 - Imagem 3D de infraestruturas

4.2.6. COORDENAÇÃO NA OBRA

Quando se tratava de coordenação entre o dono de obra e as equipas subcontractadas, o modelo foi utilizado para obter uma visão preliminar do que se iria fazer, por exemplo: o local exacto onde as equipas tinham de passar a nova cablagem, ou as portas que iriam passar a ter um novo sistema de controlo de acesso. Olhando para o modelo as equipas conseguiam perceber como era suposto efectuar os trabalhos e assim idealizar logo algumas soluções para solucionar certos problemas, acabando assim por otimizar todo o processo de trabalho.

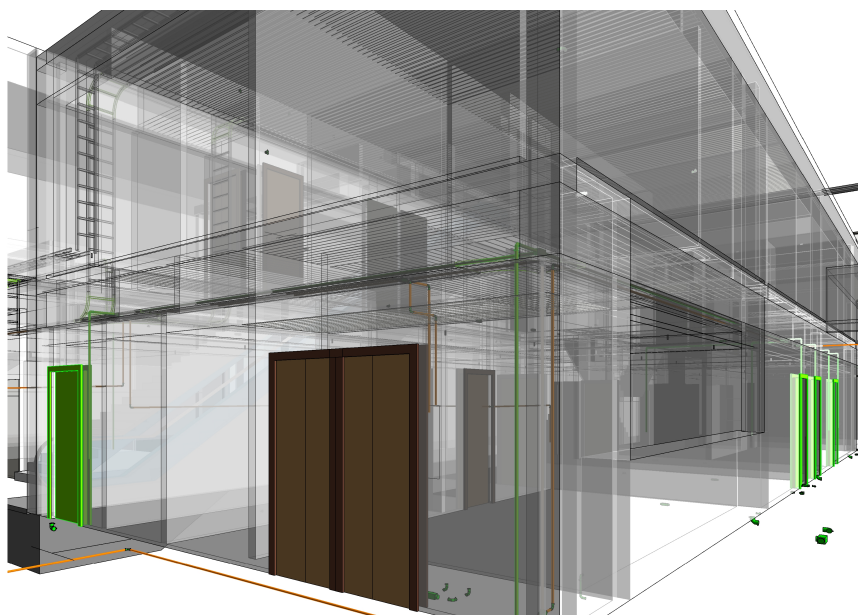


Figura 4.7 - Imagem 3D com cablagem da equipa A assinalada (cor verde)

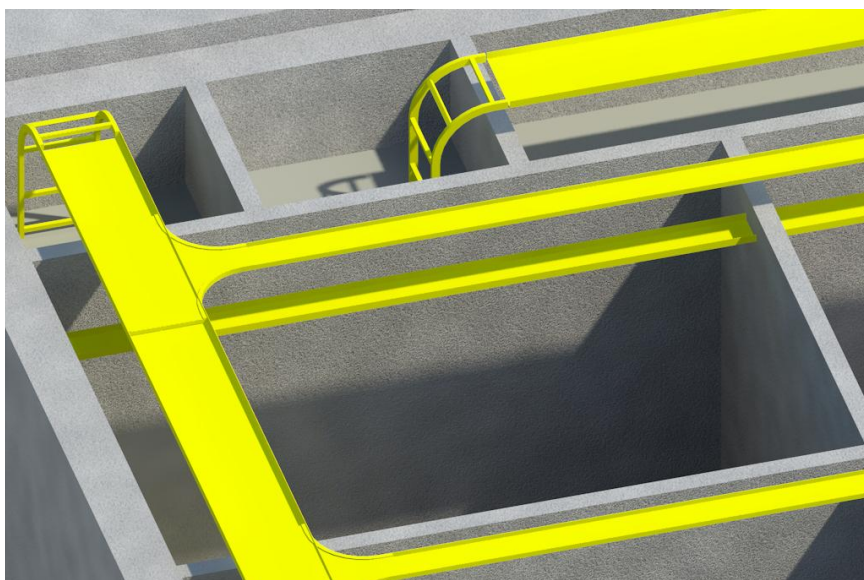


Figura 4.8 - Imagem 3D com caminhos de cabos assinalados

4.2.7. PLANEAMENTO NA OBRA

O modelo pode ser utilizado como uma ferramenta de visualização. Usualmente os trabalhadores das equipas limitam-se a fazer o seu trabalho, não se envolvem nem em desenhos 2D nem sequer

no planeamento definido. No entanto quando se mostra o modelo no ecrã ou se disponibilizam imagens 3D impressas do modelo, os trabalhadores obtêm uma visão clara do trabalho que têm de fazer, como são determinadas zonas, as partes a instalar mais tarde e os problemas relacionados com a instalação, como era o caso dos conflitos existentes, ou as áreas de acesso restrito. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: “*O modelo permitiu poupar tempo na obra, porque evitou erros e redundâncias nos trabalhos. Nós sabíamos exactamente os problemas com que nos iríamos confrontar, podendo assim evitar e agilizar alguns deles. Permite realmente poupar tempo*”.

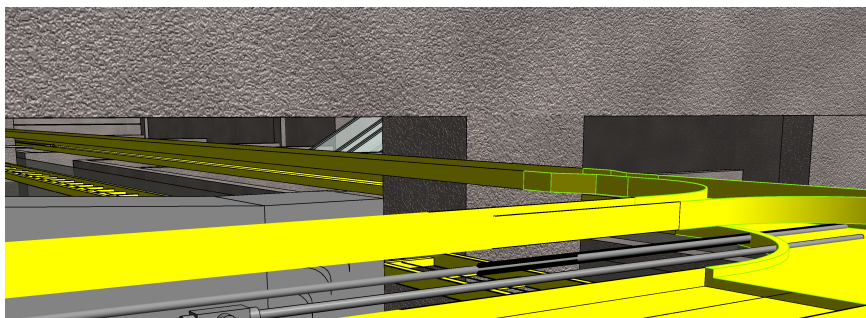


Figura 4.9 - Imagem 3D de caminhos de cabos

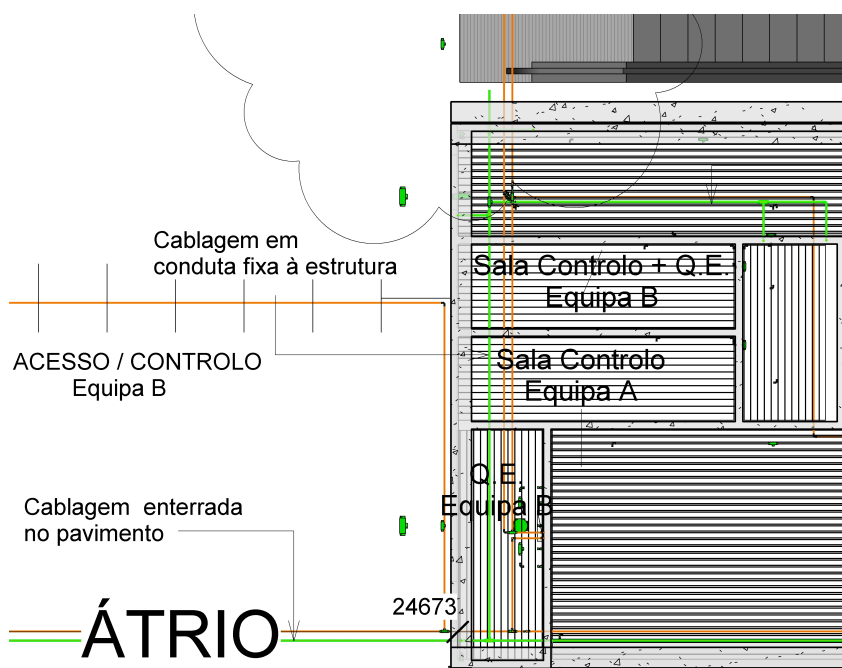


Figura 4.10 - Planta de levantamento de condicionantes

4.2.8. LOGÍSTICA

De acordo com o dono de obra o modelo é uma grande ajuda na tomada de decisões e na visualização de alterações ao projecto. Ao contrário dos desenhos CAD 2D o modelo contém toda a informação “sobreposta” no mesmo modelo e permite filtrar o que queremos ver, e visualizar de diferentes perspectivas num curto espaço de tempo. Por exemplo, foi fácil identificar o local exacto onde as condutas mudavam de direcção, ou por exemplo encontrar qual o melhor local a colocar a nova má-

quina de emissão de bilhetes, ou mesmo a complicada tarefa de identificar a localização exacta dos tectos-falsos a abrir, assim como a quantidade aproximada de cablagem necessária a lançar.

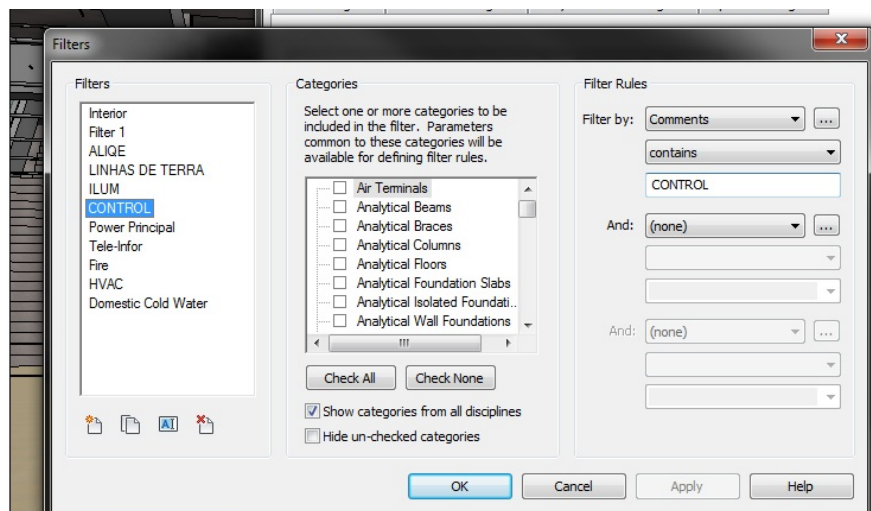


Figura 4.11 - Menu para criar filtros no Revit®

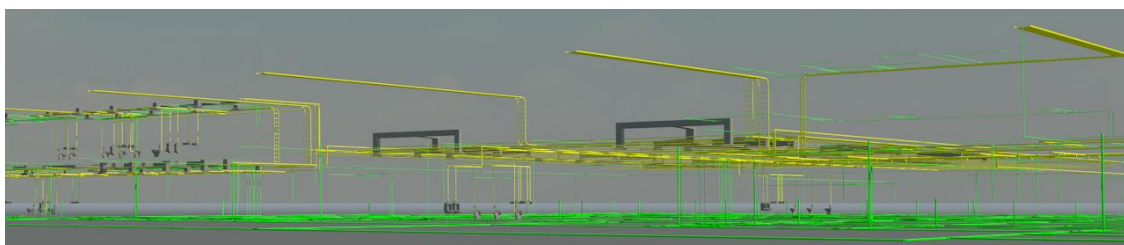


Figura 4.12 - Perspectiva 3D de parte da rede de cablagem da infraestrutura



Figura 4.13 - Perspectiva 3D de parte da estrutura da infraestrutura

4.3. PROBLEMAS E BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE BIM

4.3.1. PROBLEMAS

Utilização e interface do *software*

As empresas intervenientes no projecto não possuíam o *software* utilizado na elaboração do modelo BIM, logo não tinham forma de o manipular por elas próprias. Apesar de existir *software* gratuito que permite a visualização e manipulação de modelos BIM, como é o caso do *Naviswork® Freedom Viewer*, este não foi utilizado. Como tal, sempre que era necessário visualizar, alterar ou actualizar o modelo BIM, tinha de recorrer-se ao computador do autor. Sempre que surgiam dúvidas ou alterações e o autor não estava presente, estas só eram actualizadas no dia seguinte, perdendo-se tempo na tentativa de as resolver em obra.

Quanto ao *know how* para utilização do software, é outra das grandes dificuldades de implementação. Durante a fase de concepção do modelo, os responsáveis pela exploração da infraestrutura e pelas equipas presentes em obra, comentavam que era muito interessante e útil, mas que era necessário apostar em formação especializada para os utilizadores, a qual custa tempo e dinheiro.

A metodologia BIM engloba um conjunto vasto de ferramentas, sejam elas de modelação, análise de custos, planeamento, simulação dinâmica, etc. no entanto todas elas necessitam de pessoas especializadas para a sua utilização, levando a que as empresas tenham de investir em formação do seu pessoal ou necessitem de subcontratar o trabalho de modelação a uma empresa exterior.

O BIM consome tempo

O tempo empregue na modelação da infra-estrutura foi aproximadamente 300 horas (2,5 meses), é importante notar que o detalhe utilizado foi médio. Foram dedicadas cerca de 5 horas diárias durante esses dois meses e meio, só à modelação. É uma tarefa árdua e que consome bastante tempo.

Manter o modelo actualizado é a tarefa mais importante. É fundamental que a equipa actualize a sua parte correspondente do modelo ou introduza as alterações efectuadas, para o modelo central ser actualizado e os restantes participantes serem notificados dessas mesmas alterações. Só assim se pode garantir a conformidade e sustentabilidade do modelo. Esta era uma tarefa realizada diariamente e que consumiu bastante tempo. Considerando a dimensão do caso de estudo, e o número de equipas envolvidas, esta actualização diária do modelo, consumia entre trinta minutos a duas horas, dependendo do caso. Mas se pensarmos numa obra de grande dimensão com muitas equipas envolvidas, torna-se necessário ter uma pessoa por equipa responsável pela actualização do modelo, no final de cada reunião de coordenação.

Custos iniciais

Um dos responsáveis pela intervenção referiu numa reunião: *“Os softwares disponíveis no mercado para gerar modelos BIM têm custos muito elevados, será ainda necessário melhorar o hardware de muitas máquinas para correr o programa. É ainda preciso apostar na formação do pessoal, todos estes custos são uma barreira à implementação desta tecnologia. Temos de avaliar sempre em função da dimensão e complexidade dos projectos, assim como dos orçamentos disponíveis.”*

4.3.2. BENEFÍCIOS

Coordenação, colaboração e planeamento

Um dos responsáveis pela intervenção citou a seguinte frase referente à coordenação e planeamento: *“Muitos esforços de coordenação serão resolvidos na cabeça das pessoas antes de chegarem ao local de trabalho...não há dúvida que isso irá poupar tempo. No caso desta obra permitiu-nos coordenar os trabalhos com a outra equipa, evitando assim a abertura de alguns tectos-falsos comuns.”*

Visualização

Um dos trabalhadores das equipas referiu o seguinte: *“Existem muitos trabalhadores que conseguem olhar para plantas 2D e ver o edifício na cabeça, eu não consigo, e a visualização é uma*

grande ajuda durante o trabalho, especialmente quando estamos a lidar com infra-estruturas ocultas pela estrutura.”

Comunicação

No que toca a comunicação, o modelo é uma grande ajuda, permitindo realizar “visitas” por dentro da estrutura e simular várias alternativas e compreender os seus efeitos, possibilitando a escolha da melhor solução. Facilita a comunicação de objectivos, problemas e alterações de projecto e na construção. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: *“Existem sempre zonas que levantam algumas dúvidas técnicas, neste caso acontecia especialmente com locais onde não encontrávamos espaço para passar mais cablagem, recorrendo ao modelo tornava-se fácil explicar ao responsável pela obra o local exacto do problema e gerar uma alternativa.”*

Segurança

O BIM permitiu definir visualmente todos os espaços a intervir, possibilitando à segurança ter conhecimento e controlar esses espaços de forma mais apertada. Uma infra-estrutura de elevada utilização apresenta sempre questões de segurança apertadas e sensíveis, tem um elevado tráfego de utentes e pode ser alvo de tentativas terroristas. Por outro lado, sendo necessário efectuar a substituição da cablagem de apoio à vídeo vigilância o aumento da eficiência dos processos e gestão visual dos trabalhos, como se pode ler no próximo capítulo, traduz-se numa redução dos tempos de duração das actividades, traduzindo-se em tempos mais curtos em que as câmaras estão desligadas.

4.4. ANÁLISE DE SINERGIAS BIM-LEAN

Neste capítulo procurou analisar-se as sinergias entre os dois princípios em estudo neste caso de obras. É importante notar que, ao contrário das obras de construção, nas obras de manutenção a natureza e dimensão dos trabalhos são de menor complexidade, no entanto apresentam algumas características próprias que são: a incerteza e muitas vezes a falta de informação relativa às infra-estruturas existentes, os trabalhos são muitas vezes planeados com um elevado grau de suposições e incerteza, e normalmente decorrem sem a interdição do espaço ao público. Para as empresas de exploração é extremamente importante que os trabalhos decorram no menor curto espaço de tempo possível e com a maior segurança e qualidade possível. Seguidamente será explicado de que forma uma gestão integrada deste tipo, recorrendo às sinergias BIM-Lean, contribui para a entrega desses objectivos.

Visualização

Nas fases de apresentação do projecto e de construção, uma das grandes vantagens que o modelo BIM trouxe, foi a representação precisa dos elementos geométricos que compõem a infra-estrutura em análise, com a possibilidade de retirar imagens 3D próximas da realidade (renderizações) rápidas e sempre que necessário de situações pontuais.

Além disso, é possível “navegar” por dentro do modelo 3D e assim criar visitas virtuais à infra-estrutura a intervir. Tornou-se assim fácil comunicar a intenção do projecto e demonstrar quais as

áreas a serem intervencionadas num ambiente virtual de dados integrados. Este ambiente de dados integrados permitiu gerar cortes e plantas automaticamente de qualquer local do modelo, para análise do espaço, do traçado dos caminhos de cabos, condutas e equipamentos relevantes ao projecto, permitindo efectuar uma primeira análise das várias soluções possíveis e gerir “visualmente” o objectivo do cliente.

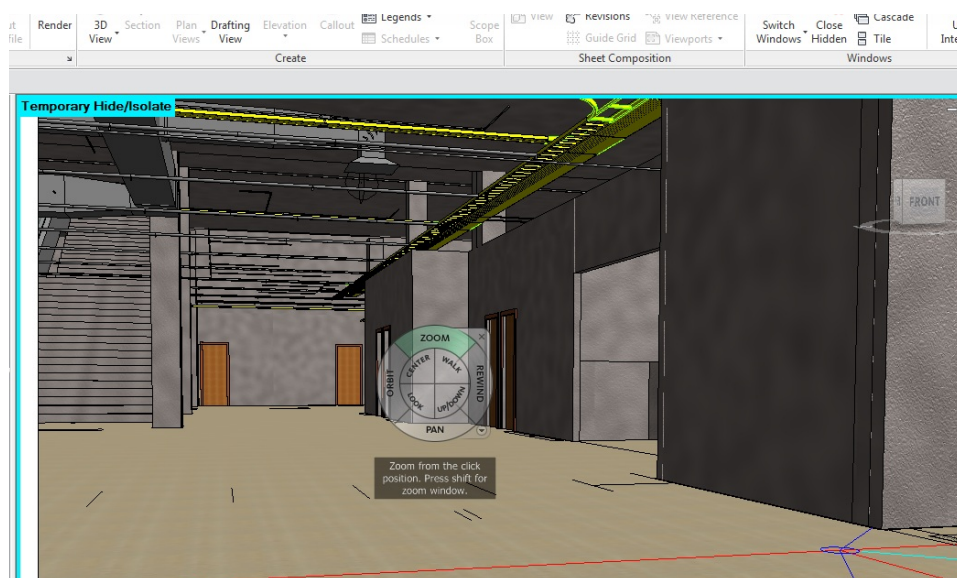


Figura 4.14 - Imagem 3D do comando *walkthrough*

A visualização da forma permitiu logo materializar os seguintes princípios *Lean*:

- Conduziu a uma abordagem de planeamento baseada no LPS, ou seja, a visualização global de todo o processo de trabalho incentivou a definir uma estratégia de planeamento diária com base num sistema *pull*, isto é, as equipas sabiam exactamente as tarefas que iriam executar e as condicionantes à sua execução. Conseguindo assim garantir que todas as condicionantes estivessem resolvidas na altura de execução da tarefa;
- A gestão das actividades era efectuada através de uma gestão visual, tendo como base o modelo BIM, permitindo assim definir uma estratégia orientada para o fluxo e valor. Todos os pressupostos estavam melhor compreendidos, organizados e definidos, assim como o conhecimento pormenorizado do local a intervir, possibilitando a escolha da melhor sequência de tarefas a realizar;
- Permitiu ainda minimizar e antever eventuais conflitos que poderiam vir a acontecer em obra, identificar várias restrições aos trabalhos, podendo estas ser de carácter estrutural, arquitectónico ou locais. Verifica-se assim, um aumento no foco da escolha da melhor solução, que vai reduzir a variabilidade e repetição dos trabalhos;
- Pressupostos do trabalho melhor compreendidos devido à visualização rigorosa do projecto.

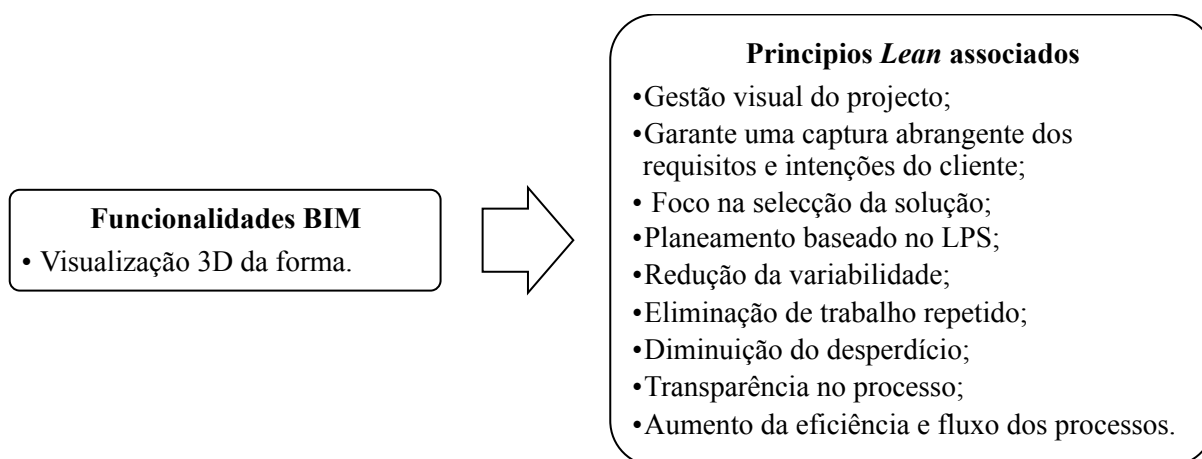


Figura 4.15 - Funcionalidades BIM versus princípios *Lean*

Colaboração no projecto e na construção

Através de reuniões diárias de coordenação e análise do modelo BIM, as equipas partilhavam dificuldades encontradas nos dias anteriores e actualizava-se o modelo, por exemplo, com zonas onde não existia espaço para passar mais cablagem, ou locais de muito difícil acesso, levando a que a outra equipa procurasse uma nova solução, evitando assim trabalho repetido.

Para as empresas subcontratadas o modelo BIM fomentou um processo de colaboração entre as equipas e o cliente, através da análise das áreas em que as duas equipas iriam trabalhar procurou encontrar-se sinergias e conflitos entre elas. Por exemplo, como ambas as equipas necessitavam de abrir tectos-falsos, identificou-se áreas comuns e os tectos-falsos abertos por uma equipa eram fechados por outra.

Todo este modo de partilha e actualização de informação entre os diversos colaboradores e donos de obra, criou uma boa relação entre os mesmos. Que por sua vez levou a um aumento da colaboração entre os mesmos, a uma tomada de decisões precisas e a maior empenho das equipas na boa realização dos trabalhos. Todos estes factores conduziram a uma melhoria na eficiência dos processos.

A colaboração no projecto e na construção permitiu logo materializar os seguintes princípios *Lean*:

- A gestão/ análise do modelo BIM em conjunto com as equipas tornou todo o processo transparente e colaborativo, incentivando as equipas a coordenar e planear os seus trabalhos, optimizando a produção e aumentando a flexibilidade entre elas;
- As reuniões diárias conduziram a um maior envolvimento das equipas no processo, traduzindo-se numa melhoria contínua dos processos;
- Redução de actividades que não acrescentam valor, através de sinergias encontradas entre as diversas equipas.

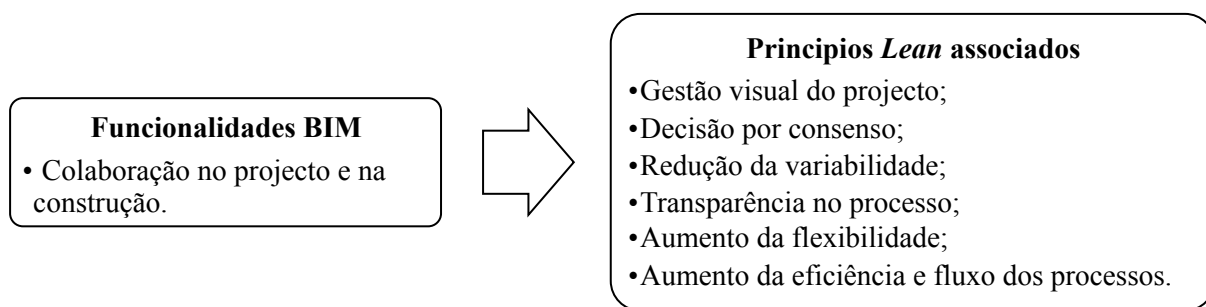


Figura 4.16 - Funcionalidades BIM versus princípios *Lean*

Simulação de várias alternativas de projecto e construção

O modelo BIM permitiu realizar uma análise rigorosa das soluções propostas, e simular várias alternativas ao projecto e verificar se as mesmas eram sustentáveis. Recorrendo a várias simulações foi possível identificar entre todas as alternativas aquela que melhor se adequava ao projecto. Esta característica foi muito importante, porque permitia ter uma visão geral de todas as possibilidades de efectuar a passagem da fibra óptica e da alimentação das novas máquinas a colocar, estes sistemas obedecem a regras específicas, entre as quais é obrigatório garantir um sistema redundante, caso um falhe o outro assegure o funcionamento dos equipamentos.

Como um modelo BIM é um modelo rigoroso da infra-estrutura modelada, e toda a informação introduzida nesse modelo, como é o caso das várias especialidades, é modelada à escala, é possível efectuar uma detecção de colisões entre os vários objectos modelados. O modelo foi analisado manualmente sob o ponto de vista de encontrar situações que poderiam vir a interferir com o decorrer dos trabalhos, destacando-se as seguintes: áreas onde as vigas se encontravam relativamente perto dos caminhos de cabos, locais onde as lajes se encontravam rebaixadas, zonas de pilares, áreas de forte afluência de passageiros em hora de ponta, locais onde existiam conflitos com outras especialidades, etc.

Assim foi possível antever os problemas que iriam ocorrer na fase de construção, contribuindo assim para evitar actividades repetidas e sem êxito de trabalho.

Esta simulação de várias alternativas no projecto e na construção permitiu logo materializar os seguintes princípios *Lean*:

- Contributo para a melhoria contínua através da escolha de soluções mais eficientes e com maior qualidade;
- Possibilidade e incentivo à escolha da melhor solução face ao objectivo, foco na solução;
- Aumento da qualidade das soluções escolhidas;
- Redução do desperdício e do trabalho repetido pela escolha de soluções acertadas;
- Redução da variabilidade através da antevisão de colisões de projecto e geração automática de documentos e desenhos actualizados. Situações possibilitadas pela visualização da forma e simulação de actividades no modelo BIM.

- O modelo BIM facilitou uma gestão visual, em ambiente virtual, das actividades, conduzindo a um melhor controlo do estado do processo.

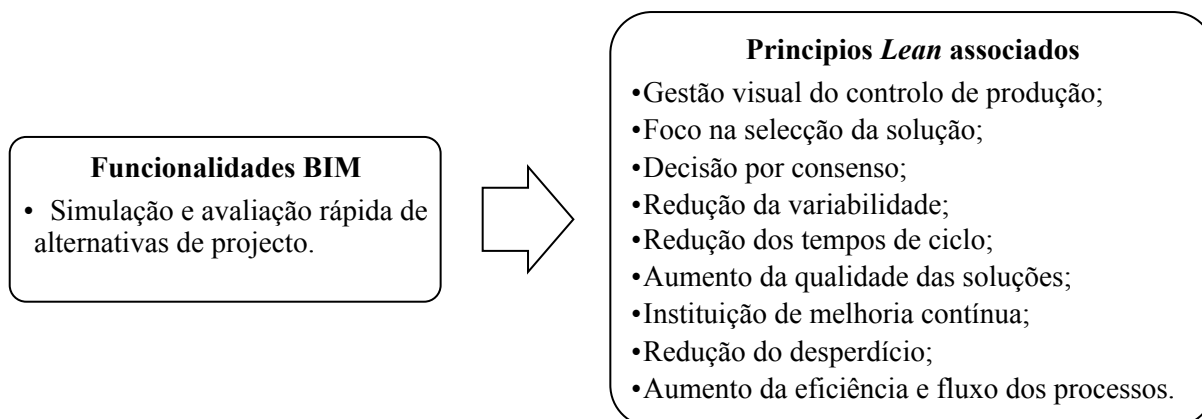


Figura 4.17 - Funcionalidades BIM versus princípios *Lean*

Geração automática de desenhos e documentos

As equipas contratadas tinham ao seu dispor toda a informação necessária, plantas gerais, plantas de pormenor, cortes, desenhos 3D, etc. Toda esta informação provinha do modelo BIM e era gerada automaticamente sempre que necessário. Mais uma vez é importante notar que toda esta gestão da informação era realizada em conjunto com as equipas contratadas, tornando-se assim o processo transparente para todos os envolvidos. Serviu ainda para efectuar medições da quantidade de cabo e fibra óptica necessária e garantir que não se excediam os comprimentos máximos.

Esta ferramenta BIM permitiu logo materializar os seguintes princípios *Lean*:

- Redução dos tempos de ciclo, através da geração rápida e automática de documentos e desenhos, e facilidade e rapidez na actualização de todos os desenhos;
- Entrega de informação actualizada a todos os envolvidos no processo.

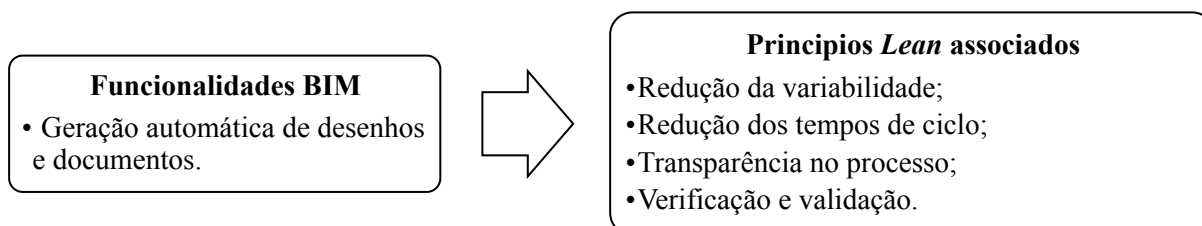


Figura 4.18 - Funcionalidades BIM versus princípios *Lean*

Planeamento e controlo

No *Revit*® simulou-se a evolução dos trabalhos, através de filtros criados para as famílias dos caminhos de cabos, assim, no final de cada dia era introduzido no *software* os cabos que se tinham passado, e muitas vezes actualizado o modelo com situações existentes que não estavam contempladas no modelo. Este controlo do processo, e transparência do mesmo permitiu prever situações para as outras equipas que não tinham sido contempladas, conduzindo assim a um envolvimento mais profundo dos trabalhadores na melhoria contínua, reduzindo a probabilidade de ocorrer erros devido a estes estarem mais visíveis e o controlo por parte das equipas do estado do processo.

Este controlo era efectuado visualmente através do modelo BIM e em paralelo com a definição do plano de tarefas.

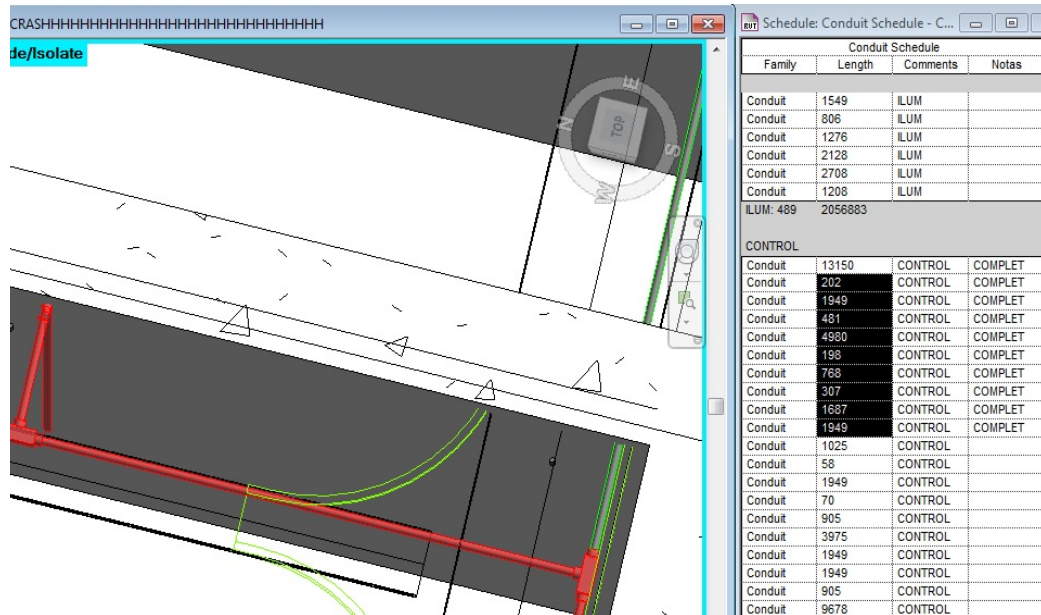


Figura 4.19 - Controlo do andamento dos trabalhos no Revit®

Este planeamento e controlo permitiram atingir os seguintes princípios *Lean*:

- O controlo da produção conduziu à sua optimização da produção, aumentando assim o fluxo de trabalho;
- Plano de tarefas bem definido e direccionado, eliminou actividades que não acrescentam valor, reduzindo a variabilidade;
- Redução nos tempos de execução das tarefas, transporte e deslocação de pessoal através de um conhecimento exacto da zona a intervir;
- Maior envolvimento das equipas no processo, conduziu a uma melhoria contínua dos processos;
- O modelo BIM facilitou uma gestão visual, em ambiente virtual, das actividades, conduzindo a um melhor controlo do estado do processo.

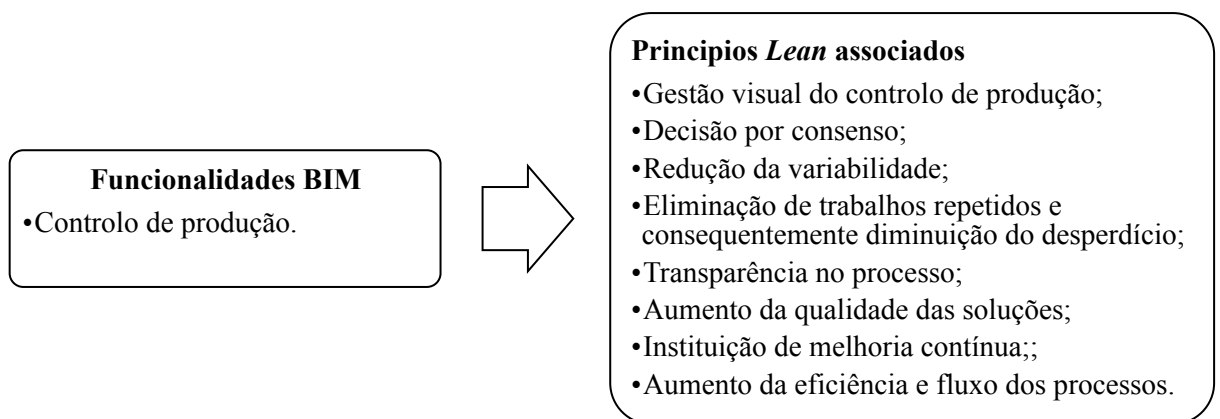


Figura 4.20 - Funcionalidades BIM versus princípios *Lean*

De seguida apresenta-se um diagrama da metodologia seguida na utilização das diversas funcionalidades BIM nas diversas fases da obra.

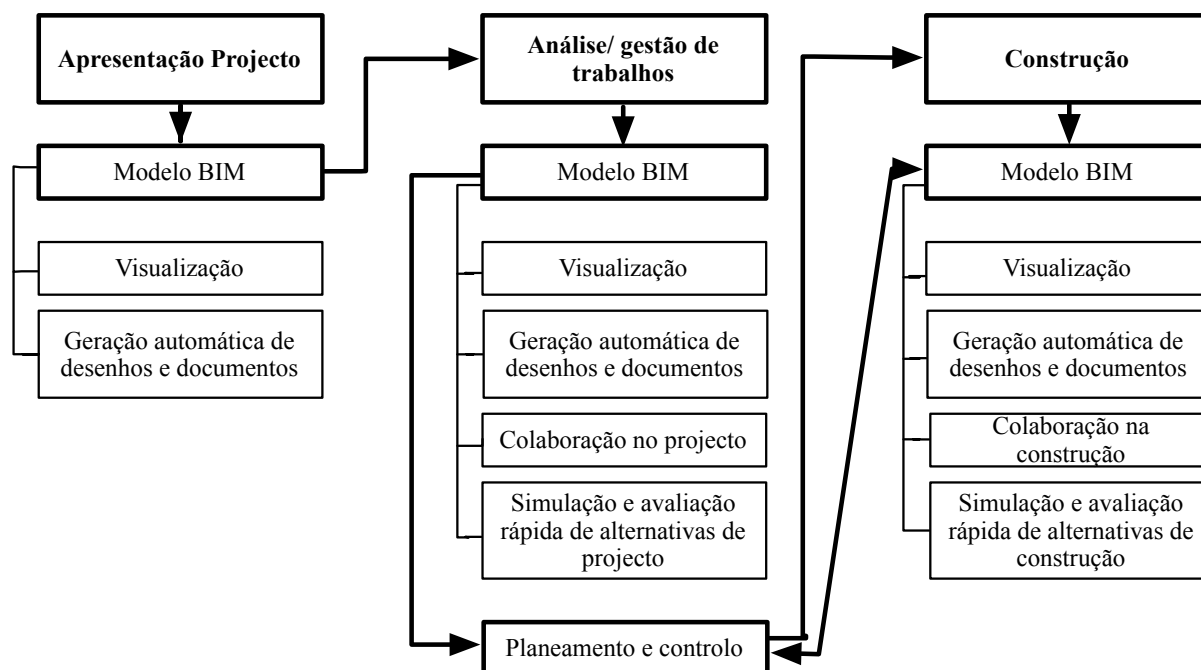


Figura 4.21 - Diagrama de aplicação das funcionalidades BIM nas diferentes fases da obra

4.5. ANÁLISE VSM

O modelo aplicado para avaliar os benefícios que as sinergias BIM-*Lean* podem originar em obras de manutenção em espaços públicos de grande utilização, terá por base o VSM. Esta é uma metodologia de fácil aplicação e compreensão e possibilita a identificação de problemas e desperdícios. O esquema de aplicação desta metodologia está descrito no capítulo 2.5.5.

Nos anexos II e III pode-se analisar o mapeamento de fluxo e valor para cada equipa.

4.5.1. ESCOLHA DO PROCESSO QUE SE PRETENDE MELHORAR

O primeiro passo é a escolha de processos que se pretendem melhorar, neste caso olhou-se para o processo como o conjunto de todas as actividades realizadas por cada uma das equipas. Isto é, foi analisado o ciclo completo de trabalho realizado pelas equipas, englobando assim, todas as actividades necessárias para a sua finalização. Como tal o processo que se pretende melhorar, é a intervenção global de cada uma das equipas.

Para a empresa exploradora do espaço é este ciclo - do início dos trabalhos ao final dos mesmos – que acarreta problemas para o funcionamento normal da gare.

A observação de todas as actividades foi realizada, tendo sempre presente a filosofia *Lean*, para ser possível identificar onde ocorriam actividades sem valor acrescentado – ou seja, desperdício; e procurando sempre encontrar de que forma um modelo BIM poderia otimizar o processo.

4.5.2. MAPEAMENTO DO ESTADO ACTUAL DO PROCESSO

Antes de se dar início ao processo de mapeamento foi feita uma pequena apresentação a todos os intervenientes no processo, sobre o pensamento *Lean*, o VSM e o BIM, para que todos compreendessem o que estava a ser feito.

Para se elaborar o mapeamento do estado actual do processo, foi necessário estar presente em obra para observar e analisar o modo de funcionamento das equipas, os desperdícios existentes e condicionadores de um fluxo contínuo de valor. Recorreu-se à observação directa e a vários intervenientes no processo, desde os trabalhadores aos responsáveis pelas equipas, para se obter informação actualizada do mesmo, e identificar todas as etapas que criam valor.

Cada equipa será observada individualmente, analisando os vários intervenientes e as actividades realizadas. Em baixo encontra-se o mapeamento do estado actual das actividades que foram observadas para cada equipa (Quadro 4.1 e Quadro 4.2)

A equipa A era responsável pela substituição da rede de cablagem de apoio ao sistema de controlo de acessos a zonas reservadas. A Equipa B era responsável pela passagem da rede de cablagem de instalação das novas barreiras de fecho de estação.

Quadro 4.1 – MFV do estado actual da equipa A

| Actividade | Mapeamento do estado actual | Duração (horas) |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Enquadramento das equipas | 1. Reunião de <i>kick-off</i> para debate do objectivo do cliente | 3 |
| | 2. Visita ao local da obra para identificação do local de trabalho | 3 |
| Transporte do material para o local | 1. Transporte do material e descarregamento do material do carro para o local da obra | 0,5 |
| Identificação de caminhos de cabos | 1. Abertura de tectos-falsos 2. Procura dos caminhos de cabos 3. Identificação dos caminhos de cabos | 25 |
| Passagem de cablagem | 1. Passagem de cablagem 2. Fecho de tectos-falsos | |
| Montagem e ligação dos novos sistemas de controlo de acessos | 1. Montagem dos sistemas 2. Ligação dos sistemas 3. Verificação dos sistemas | 8 |

A equipa B era responsável pela instalação das novas barreiras de fecho de estação e de uma máquina dispensadora de títulos de acesso ao interior da estação.

Quadro 4.2 – MFV do estado actual da equipa B

| Actividade | Mapeamento do estado actual | Duração (horas) |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Enquadramento das equipas | 1. Reunião de <i>kick-off</i> para debate do objectivo do cliente | 3 |
| | 2. Visita ao local da obra para identificação do local de trabalho | 3 |
| Transporte do material para o local | 1. Transporte do material e descarregamento do material do carro para o local da obra | 0,5 |
| Identificação de caminhos de cabos | 1. Procura dos caminhos de cabos 2. Abertura de tectos-falsos 3. Identificação dos caminhos de cabos | 20 |
| Passagem de cablagem | 1. Passagem de cablagem 2. Passagem de energia 3. Fecho de tectos-falsos | |
| Montagem e ligação dos novos sistemas | 1. Montagem das barreiras 2. Montagem do novo sistema de emissão de bilhetes 3. Ligação dos sistemas 4. Verificação dos sistemas | 12 |

Com o intuito de demonstrar a percentagem de actividades sem valor acrescentado no processo de produção das duas equipas, apresenta-se de seguida os mapeamentos de fluxo e valor do estado actual para as duas equipas (Figura 4.22 e Figura 4.23).

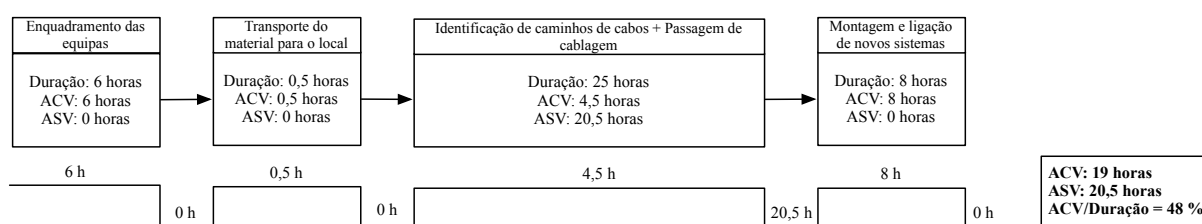


Figura 4.22 - MFV do estado actual da equipa A

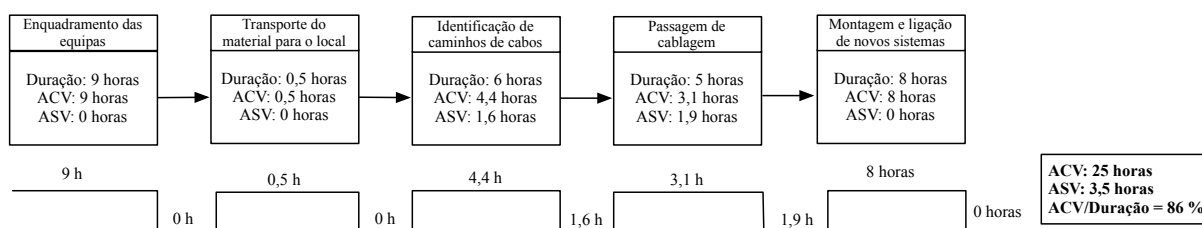


Figura 4.23 - MFV do estado actual da equipa B

Sendo que ACV significa actividades com valor acrescentado, isto é, uma actividade que contribui directamente para a produção do produto final, ASV actividades sem valor acrescentado, são todas as actividades que não acrescentam valor ao produto final.

4.5.3. OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE VALOR

Para se poder analisar as actividades executadas em obra, foi necessário manter um acompanhamento diário da mesma. Só assim foi possível analisar todas as actividades, a forma como eram executadas, as dificuldades encontradas e os tempos de execução das mesmas.

Procedeu-se a uma monitorização da actividade “Identificação de caminhos de cabos” para a Equipa A (Figura 4.24), com o objectivo de identificar quais as tarefas que não acrescentam valor, ou seja, que causam desperdício. Esta monitorização consistiu na medição da duração das actividades sem valor acrescentado, isto é, as actividades que não contribuíam para o andamento do fluxo, durante um período de quatro horas. A duração da tarefa era medido desde a chegada ao local, até estar garantido o acesso aos caminhos de cabos relevante. Poderiam ocorrer dois tipos de desperdício – o tipo 1: no caso de se ter aberto um local que não dava acesso ao caminho de cabos; o tipo 2: no caso de se ter aberto um local correcto, mas o caminho de cabos estava inacessível.

Na Equipa B, foi analisado o rendimento da equipa na actividade “passagem de cablagem” Figura 4.25. Para se poder efectuar uma comparação entre o estado actual e o futuro, foi analisado o rendimento da Equipa B, sob a forma de metros lineares de cablagem passados por hora. Para esta análise ser possível e se aproximar o mais possível da realidade, foi efectuada uma monitorização durante um período de quatro horas da actividade isolada de passagem de cablagem no átrio central. Escolheu-se esta zona para efectuar a monitorização por ser uma zona que não era necessário identificar tectos-falsos a abrir, pois só existiam quatro pontos de acesso e uma infinidade de elementos condicionantes à passagem da nova cablagem. Esta foi uma zona onde eram necessário passar 100 metros lineares de cablagem (dois conjuntos de cabos de fibra óptica e um de energia). Poderiam ocorrer três tipos de desperdício – tipo 1: no caso de ocorrer uma colisão com algum elemento, ou não ser possível o acesso a uma zona restrita, mas a resolução ser possível; tipo 2: no caso da situação anterior, mas a resolução não ser possível e ser necessário retirar a cablagem passada e optar por outro traçado; tipo 3: no caso de não se conseguir aceder ao local de colisão.

Escolheu-se um período de quatro horas, para se conseguir abranger o maior número de condicionantes possíveis para as duas equipas.

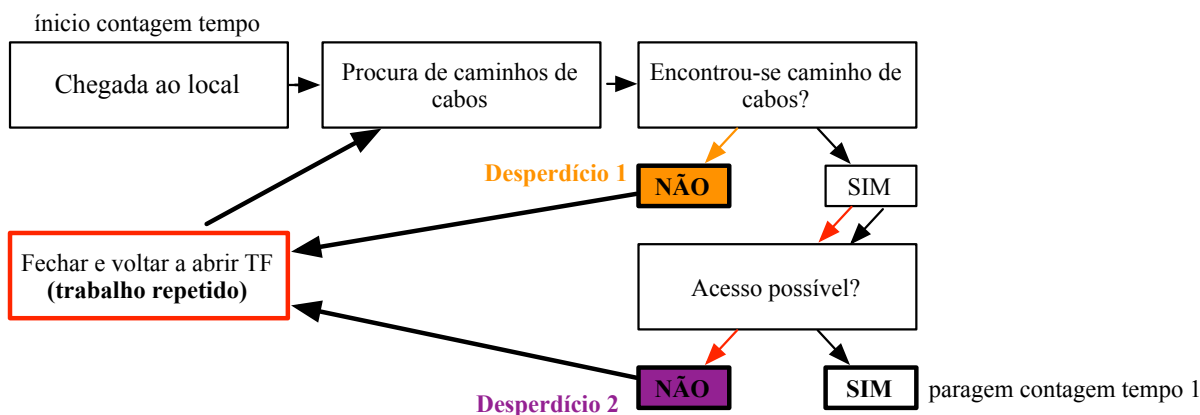


Figura 4.24 - Esquema de monitorização realizada na equipa A

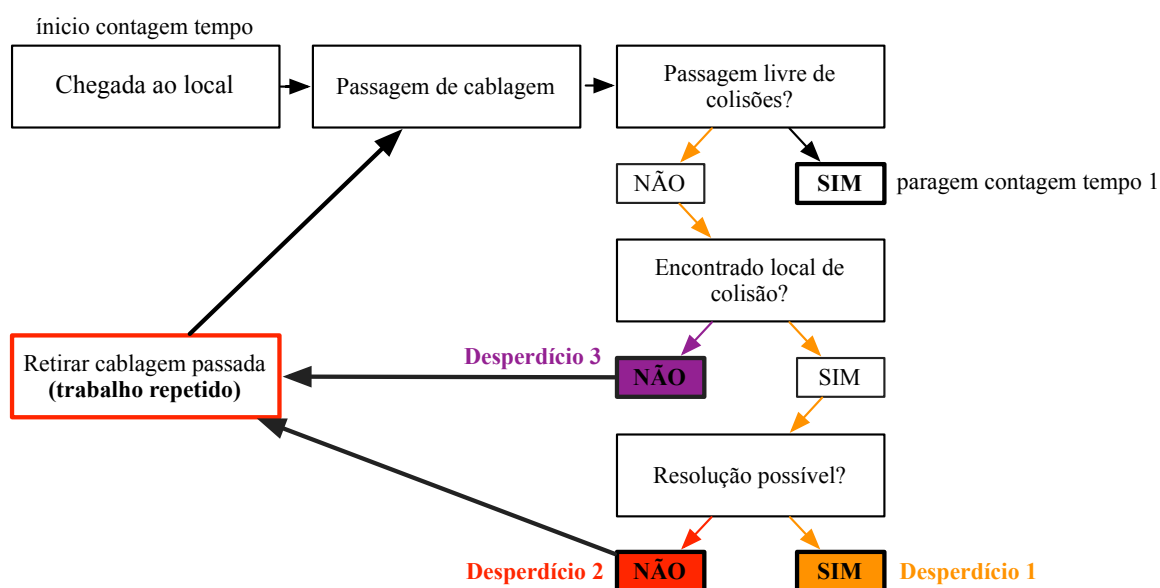


Figura 4.25 - Esquema de monitorização realizada na equipa B

Neste capítulo encontram-se as propostas de melhorias a implementar, sempre com o intuito de aumentar o fluxo de trabalho e reduzir o desperdício.

Como se pôde observar nos Quadro 4.1 e Quadro 4.2 procurou-se agrupar várias tarefas em actividades, simplificando assim o processo de análise das mesmas.

4.5.3.1 Enquadramento das equipas – Equipas A e B

Nesta fase do projecto foi realizada uma reunião com os membros responsáveis das duas equipas contratadas, com o objectivo de discutir as intenções do dono de obra. Esta reunião foi feita sem qualquer suporte digital ou em papel relativo ao local de intervenção. A ordem dos trabalhos foi discutida de forma pouco profunda, como é comum neste tipo de obras, não se dando o valor devido ao planeamento rigoroso das actividades. É muito comum esta forma de abordar este género de trabalhos, normalmente não se tem percepção da forma como as situações pontuais que ocorrem durante a fase de construção vão afectar todo o projecto, sob uma perspectiva temporal.

Com as equipas propriamente ditas não foram realizadas reuniões de coordenação sob o ponto de vista de procurar sinergias entre elas, não se realizou nenhuma análise prévia dos traçados dos caminhos de cabo existentes nem um planeamento da melhor sequência de trabalhos a empregar em obra, e não foram disponibilizadas plantas do existente, deixou-se tudo ao critério das empresas subcontratadas, as quais não realizaram nenhuma preparação prévia dos trabalhos.

É muito comum as actividades mais pequenas serem discriminadas, não se indo ao detalhe das tarefas a realizar, que é onde posteriormente ocorrem a maior parte das vezes os problemas e as causas de atrasos e custos acrescidos de projecto.

Melhorias a implementar:

- Modelo BIM de suporte;
 - Visualização;
 - Geração automática de desenhos e documentos;
 - Colaboração no projecto;
 - Simulação e avaliação rápida de alternativas de projecto;
- Processo de planeamento diário baseado no LPS;
- Foco na solução;
- Transparência no processo;
- Gestão visual do projecto;
- Decisão por consenso.

Vantagens da implementação:

Através do modelo BIM foi possível ter um suporte visual 3D detalhado da gare, oferecendo uma capacidade de visualização melhorada das propostas no início do projecto, os modelos 3D permitiram um estudo mais aprofundado de todas as soluções alternativas de concepção. Isto possibilitou uma melhor avaliação dos espaços e detalhes da infra-estrutura. Assim sendo, o dono de obra e os intervenientes do projecto alcançaram mais facilmente os ajustes que eram necessários fazer até que o projecto atendessem aos objectivos desejados.

Através da análise do modelo BIM foi possível dotar os coordenadores das equipas de um conhecimento profundo de toda a envolvência dos trabalhos a efectuar. Fomentando assim uma escolha da melhor sequência de realização das tarefas assente num planeamento tipo LPS, ou seja contemplou-se as actividades até ao detalhe, e que estas só eram realizadas quando todas as condições estivessem reunidas, e de prever o melhor traçado possível para o objectivo pretendido.

É importante notar que todos estes benefícios vêm contribuir directamente para a melhoria contínua, na medida em que com o aumento da colaboração entre as várias equipas de projecto, e os proprietários e a transparência no processo, permite a estes compreender melhor e participar de forma mais eficaz em todo o ciclo do projecto. A Figura 4.26 representa a metodologia de trabalho recorrendo ao modelo BIM e os benefícios *Lean* resultantes.

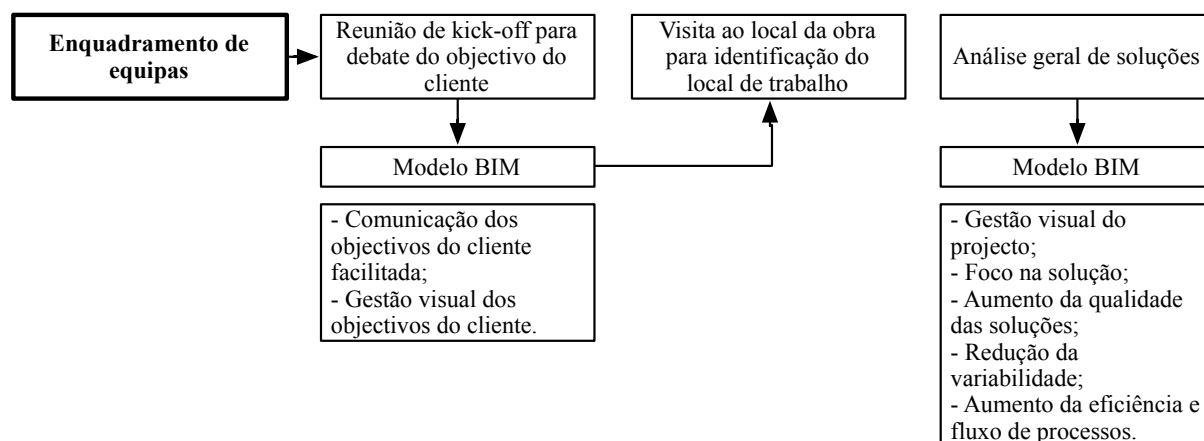


Figura 4.26 - Esquema de metodologia BIM-Lean aplicada na actividade "enquadramento de equipas"

4.5.3.2 Transporte do material para o local – Equipas A e B

O material necessário para a realização dos trabalhos eram bobines de cabos de fibra óptica e de energia e ferramenta simples e leve para elaboração dos trabalhos. O material foi desde logo armazenado numa sala no local disponibilizada pelo dono de obra. Não existiu condicionantes nem desperdício referente ao transporte de material.

Não foi assim introduzida nenhuma melhoria ao nível desta actividade.

4.5.3.3 Identificação de caminhos de cabos – Equipas A e B

Esta foi uma das actividades mais condicionantes de todo o processo, onde se encontrou mais desperdícios e interrupções do fluxo de trabalho, devido à má preparação dos trabalhos.

Como foi referido na análise do caso de estudo, na gare ferroviária em questão existem três zonas distintas onde era necessário passar a nova cablagem, a zona do átrio principal, a zona de escritórios e a de acesso restrito.

No átrio principal o pé direito é de 3,5 m, os tectos-falsos são em placas de gesso cartonado e existem três áreas em grelha metálica quadriculada, sendo estas as únicas zonas onde é possível aceder à área técnica onde passam todas as infraestruturas. Esta área entre os tectos-falsos e a estrutura da plataforma ferroviária tem inúmeras características que dificultam os trabalhos, nomeadamente: não tem iluminação, contempla a passagem da rede eléctrica da estação, as tubagens de abastecimento de água, a rede de incêndio, a rede de telecomunicações, a infraestrutura de AVAC e tem ainda a estrutura de suporte do próprio tecto-falso. É uma zona difícil de aceder e circular caso seja necessário. No átrio principal existia uma ideia de onde se encontravam os caminhos de cabos. A primeira dificuldade esteve em identificar qual o trajecto possível para chegar à zona onde se iria instalar as novas barreiras, e como efectuar a descida dos cabos para as barreiras; a segunda dificuldade foi identificar onde se poderia ir buscar energia e quais os compartimentos mais próximos que continham as áreas técnicas de ligações de dados. Como estas eram áreas de acesso condicionado, era necessário pedir previamente acesso a estas. Devido a estas duas condicionantes e sem qualquer tipo de plantas da estação, as equipas tinham inúmeras interrupções de fluxo de trabalho, chegando por vezes a atingir tempos de espera

de uma hora, e raramente eram analisadas todas as soluções possíveis, optando-se por aquela que dava menos trabalho. Quando se verificava que não era possível passar o cabo por aquele local, era necessário retirar o cabo passado e voltar à actividade anterior de procurar outra solução possível, ou seja a equipa retornava ao processo de suposição se existiria uma outra alternativa.

Nas zonas de escritórios e de acesso restrito a grande dificuldade era descobrir onde estavam os caminhos de cabos. Os tectos-falsos aqui eram constituídos por chapas metálicas com 4,0 x 0,40 m com um encaixe difícil de utilizar. Tanto nos corredores como nas várias salas, existiam inúmeras chapas e as equipas não tinham informação quanto à localização dos caminhos de cabos, conduzindo à tarefa árdua de abrir e fechar tectos-falsos desnecessariamente até se encontrar o local onde passavam os cabos. Todas estas tentativas de encontrar os caminhos de cabos eram actividades sem valor acrescentado, contribuindo apenas para uma exaustão dos trabalhadores, conduzindo a uma diminuição da qualidade do trabalho, trabalho repetido desnecessário e tempo inutilizado.

Melhorias a implementar

- Modelo BIM de suporte;
 - Visualização;
 - Geração automática de desenhos e documentos;
 - Colaboração na construção;
 - Simulação e avaliação rápida de alternativas à construção;
 - Planeamento e controlo;
- Plano de actividades definido com base no LPS;
- Reuniões diárias;
- *Kayzen*;
- 5S;
- Verificação e validação;
- Gestão visual do controlo de produção;
- Transparência no processo.

Vantagens de implementação

Através do modelo BIM existia um suporte visual 3D detalhado da gare, oferecendo uma capacidade de visualização detalhada de todas as infra-estruturas da gare. Isto permitiu identificar a localização exacta de todos os caminhos de cabos possibilitando às equipas saberem exactamente os tectos-falsos a abrir.

Um modelo BIM tem a capacidade de gerar automaticamente plantas, cortes e imagens 3D de qualquer espaço, permitindo assim dotar as equipas com ferramentas e toda a informação necessária relativa ao local de intervenção, dotando-as assim de um conhecimento profundo das características do local. Consegue-se assim garantir fluxos de trabalho contínuos, aumentar a eficiência do processo e

fazer bem à primeira e com mais qualidade. Consegue-se assim reduzir a variabilidade das actividades, eliminando consequentemente desperdício.

Foi definido um plano de actividades baseado numa abordagem do LPS e no modelo BIM, conseguindo-se assim dotar as equipas de um controlo e coordenação nos seus trabalhos, contribuindo para uma optimização do processo. Este plano de actividades era definido diariamente em função do local que as equipas iriam intervir no dia seguinte, identificando e assegurando-se que todas as condicionantes aos trabalhos existentes nesse local estariam resolvidas.

Através das reuniões diárias para a actualização/ análise do modelo, e definição do plano de trabalhos, conduziu a uma transparência no processo para todos os envolvidos. Garantindo assim que as equipas colaboravam nas suas actividades. Conseguiu-se assim uma maior coordenação que permitiu, por exemplo, que não fechassem tectos-falsos comuns a uma actividade da outra equipa, que teria de seguida que os abrir para intervir.

Procurou-se instituir o princípio *Lean 5S*: *Seiketsu* (senso de padronização) para padronizar a sequência de trabalhos de, abertura de tectos-falsos, visto ser uma quantidade enorme a abrir e sendo uma tarefa bastante difícil; *Seiri* (senso de utilização) para orientar o trabalho sempre numa perspectiva de aumento de fluxo; *Seiton* (senso de organização) para colocar em ordem a localização dos elementos utilizados para que estejam sempre ao alcance do utilizador; *Seiso* (senso de limpeza) para garantir que a limpeza conforme o original, visto ser um local de forte afluência de passageiros; *Shitsuke* (senso de autodisciplina) para garantir a sustentabilidade de todo o sistema. A Figura 4.27 representa a metodologia de trabalho recorrendo ao modelo BIM e os benefícios *Lean* resultantes.

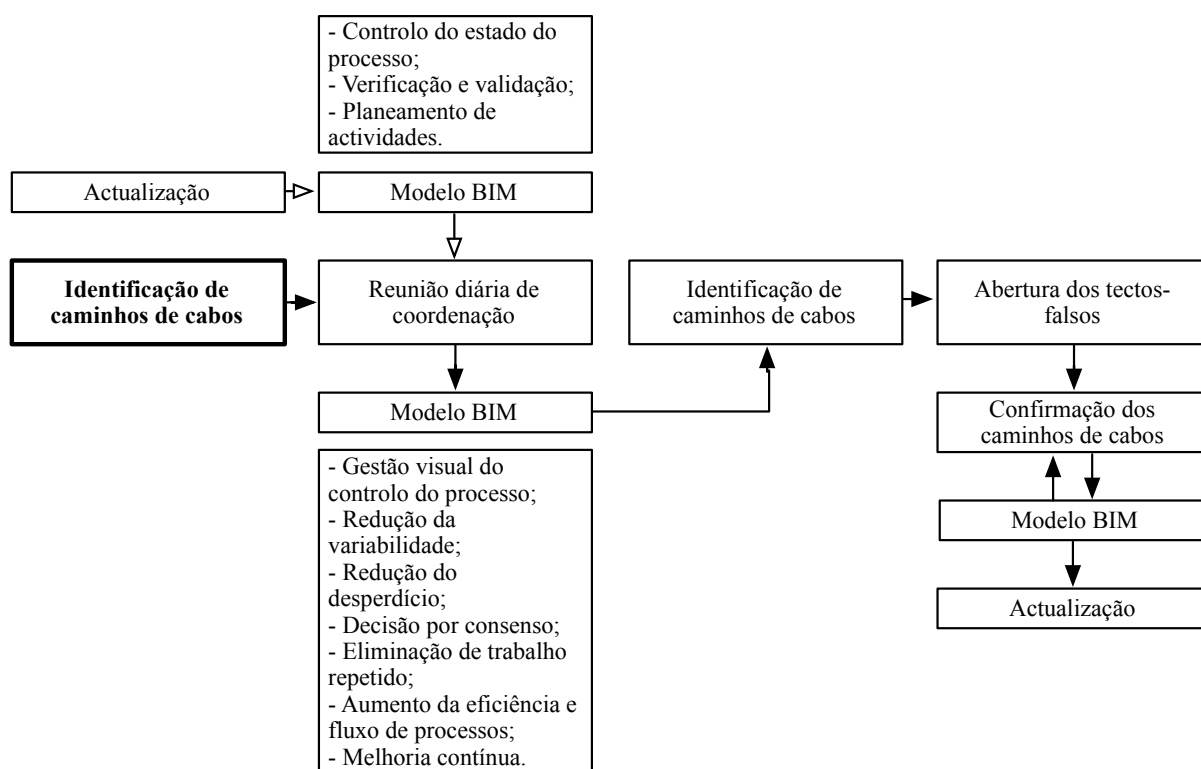


Figura 4.27 - Esquema de metodologia BIM-*Lean* implementada na actividade "identificação de caminhos de cabos"

4.5.3.4 Passagem da cablagem – Equipas A e B

Esta foi uma actividade que teve inúmeras condicionantes que não tinham sido previstas na fase de preparação dos trabalhos, que resultaram em inúmeros atrasos e dificuldades na sua execução.

Decorrente da falta de preparação dos trabalhos, da não existência de um planeamento geral das actividades e da pouca importância dada às pequenas actividades as equipas estavam “perdidas” no terreno. A falta de apoio e suporte de informação no local da obra, conduziu a inúmeras actividades sem valor acrescentado, e muitas outras de trabalhos repetidos, a falta de controlo e coordenação conduziu a situações problemáticas repetidas para as duas equipas, como foi o caso, do acesso a áreas restritas, e a abertura e fecho dos mesmos tectos-falsos em determinadas zonas.

Quanto a condicionalismos decorrentes da fraca análise dos trabalhos a realizar, há a referir: em primeiro lugar a restrição não prevista que decorreu do volume de afluência de passageiros na gare durante as horas de ponta, colocando em risco os trabalhadores que se encontravam a trabalhar no átrio principal a 3,5 metros de altura, como os passageiros que circulavam por de baixo dos tectos-falsos que estavam a ser intervencionados e que levou a condicionar o período das intervenções; em segundo lugar, os caminhos de cabos estavam lotados de cabos, levando a que numa zona central do átrio já não houvesse espaço entre a viga e os caminhos de cabos, acabando o cabo por bloquear naquele obstáculo, sendo depois necessário encontrar o acesso à área técnica mais próximo desta zona para arranjar espaço para a sua passagem, tendo que se recorrer à deslocação de “gatas” por cima dos tectos-falsos, podendo colocar em risco a segurança do trabalhador e dos passageiros que circulavam na estação; outro problema que se verificou diversas vezes, tal como na actividade anterior, foi o acesso a áreas restritas não estar coordenado entre equipas, nem entre estas e a pessoa responsável pelo acesso a essas áreas, causando inúmeros tempos de espera. Nas zonas dos escritórios a passagem da cablagem adquiria uma nova dimensão, que era arranjar espaço para passar mais cabo nas aberturas feitas em paredes entre compartimentos, e muitas vezes encontrar essas próprias aberturas. Refira-se a falta de qualidade de trabalhos anteriores já realizados, existindo cabos totalmente torcidos, cabos entalados por aparelhos, cabos danificados devido à sobre-utilização dos caminhos de cabos, etc.

Tendo todas estas condicionantes causado inúmeras vezes trabalhos repetidos, ocorreram imensas actividades sem valor acrescentado, entre elas: andar à procura do suposto local onde o cabo tinha bloqueado; passagem diferenciada de cabos, quando poderiam ter sido logo passados em conjunto; escolha de traçados longos, quando existiam traçados mais curtos; cabos passados por fora dos caminhos de cabos e muitas vezes à solta nos tectos-falsos, colocando em risco o seu correcto funcionamento.

No que respeita à segurança, os tempos de espera causados pelo mal planeamento desta actividade originou ainda que, o tempo de interrupção de funcionamento das câmaras de vídeo vigilância fosse elevado em alguns casos pontuais.

A ausência de coordenação, colaboração e comunicação entre as duas equipas levou a situações repetidas de colisões com objectos existentes, que poderia ter sido evitada se uma equipa tivesse alertado a outra daquele problema.

Melhorias a implementar

- Modelo BIM de suporte;
 - Visualização;
 - Geração automática de desenhos e documentos;
 - Colaboração na construção;
 - Simulação e avaliação rápida de alternativas à construção;
 - Planeamento e controlo;
- Plano de actividades definido com base no LPS;
- Reuniões diárias;
- *Kayzen*;
- 5S;
- Verificação e validação;
- Gestão visual do controlo de produção;
- Transparência no processo.

Vantagens da implementação:

Através da capacidade de visualização melhorada da infra-estrutura, possível pelo modelo BIM, foi possível analisar diariamente as soluções propostas para a passagem da cablagem e analisar virtualmente o traçado escolhido, com foco sempre na escolha da melhor solução. Assim sendo as equipas intervenientes conseguiam facilmente traçar um plano de “ataque” diário, e alcançar os seus objectivos diários, analisar situações pontuais que ocorressem e encontrar alternativas rápidas para as solucionar, e identificar as zonas exactas de interesse para o projecto, sem ser necessário perguntar ou procurar por elas. Reduzindo assim a necessidade de intervenção de pessoas de quadros superiores e minimizando os tempos de espera nestas situações.

Através da actualização do modelo e troca de informação entre as duas equipas conseguiu-se prever alternativas às situações mais difíceis do traçado, reduzindo a variabilidade e as actividades sem valor acrescentado.

A interacção e controlo do trabalho recorrendo ao suporte visual do modelo BIM, aumentou a colaboração entre todos, conduzindo a que as diferentes equipas participassem de forma mais eficaz no processo, incentivando assim a uma melhoria na qualidade dos trabalhos (*kayzen*).

Como já referido na actividade anterior, através das reuniões diárias para a actualização/ análise do modelo, e definição do plano de trabalhos, conduziu a uma transparência no processo para todos os envolvidos, garantindo assim que as equipas colaboravam nas suas actividades.

Instituiu-se também o princípio *Lean 5S*, sendo que o mais relevante nesta operação foi sem

dúvida o *Seiketsu*, que permitiu padronizar a sequência dos trabalhos.

Todos estes benefícios contribuíram para um fluxo de trabalho estável e contínuo, acabando com toda a incerteza e suposição existente no processo antigo. A Figura 4.28 representa a metodologia de trabalho recorrendo ao modelo BIM e os benefícios *Lean* resultantes.

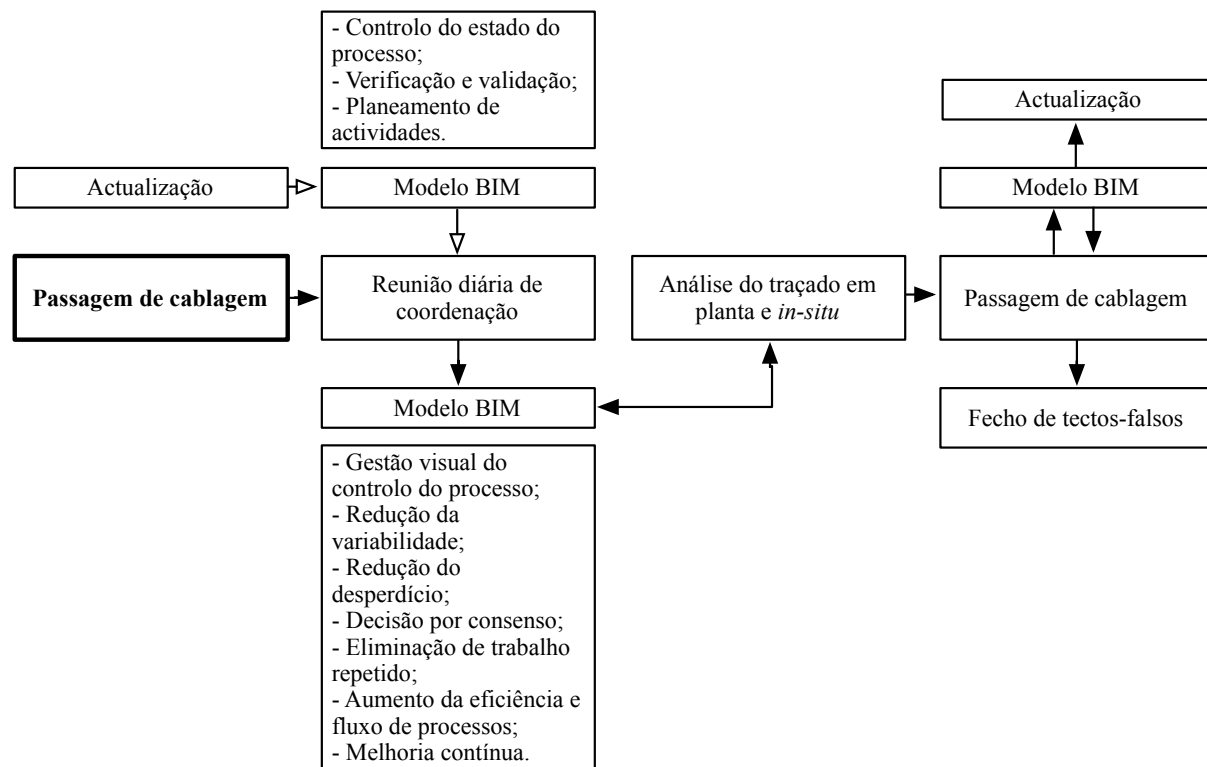


Figura 4.28 - Esquema de metodologia BIM-Lean implementada na actividade "passagem de cablagem"

4.5.3.5 Montagem e ligação dos novos sistemas – Equipas A e B

Esta actividade consistia na instalação do novo sistema de controlo de acessos e na ligação do mesmo para a equipa A, para a equipa B dividiu-se em duas actividades, instalação e montagem das novas barreiras de segurança e montagem da nova máquina de títulos.

Melhorias a implementar

A única melhoria a implementar aqui, seria introdução no modelo BIM informação importante relativa aos novos sistemas instalados. Poderia ainda ser introduzida informação relativa a dados do fabricante no novo sistema de controlo de acessos. Esta informação ficaria assim disponível para a entidade exploradora para futuras intervenções.

4.5.4. MAPEAMENTO DO ESTADO FUTURO DO PROCESSO

Depois de analisados e identificados os desperdícios existentes no processo e tendo sido elaboradas propostas de melhoramento, elaborou-se o mapeamento do estado futuro.

No mapeamento do estado futuro não são visíveis todas as propostas de melhoria, apenas aquelas que envolvem uma alteração na sequência do processo. No mapeamento apenas se consegue visualizar o processo no seu todo. De seguida é apresentado o mapeamento do estado futuro para as duas equipas (Quadro 4.3 e Quadro 4.4).

Quadro 4.3 - VSM do estado futuro da equipa A

| Actividade | Mapeamento do estado futuro | Duração (horas) |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Enquadramento das equipas | 1. Reunião de <i>kick-off</i> para debate do objectivo do cliente | 1 |
| | 2. Visita ao local da obra para identificação do local de trabalho | 3 |
| | 3. Análise/ escolha da melhor solução e traçado virtual | 5 |
| Transporte do material para o local | 1. Transporte do material e descarregamento do material do carro para o local da obra | 0,5 |
| Identificação de caminhos de cabos | 1. Identificação dos tectos-falsos 2. Abertura dos tectos-falsos 3. Confirmação dos caminhos de cabos | 6 |
| Passagem de cablagem | 1. Análise do traçado em planta e <i>in-situ</i> 2. Passagem de cablagem 3. Fecho de tectos-falsos | 5 |
| Montagem e ligação dos novos sistemas de controlo de acessos | 1. Montagem dos sistemas 2. Ligação dos sistemas 3. Verificação dos sistemas | 8 |

Quadro 4.4 - VSM do estado futuro da equipa B

| Actividade | Mapeamento do estado actual | Duração (horas) |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Enquadramento das equipas | 1. Reunião de <i>kick-off</i> para debate do objectivo do cliente | 1 |
| | 2. Visita ao local da obra para identificação do local de trabalho | 3 |
| | 3. Análise/ escolha da melhor solução e traçado virtual | 5 |
| Transporte do material para o local | 1. Transporte do material e descarregamento do material do carro para o local da obra | 0,5 |
| Identificação de caminhos de cabos | 1. Identificação dos tectos-falsos 2. Abertura dos tectos-falsos 3. Verificação dos caminhos de cabos | 2 |
| Passagem de cablagem | 1. Análise do traçado em planta e <i>in-situ</i> 2. Passagem de cablagem 3. Passagem de energia | 8 |

| | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | 4. Fecho de tectos-falsos | |
| Montagem e ligação dos novos sistemas | 1. Montagem das barreiras 2. Montagem do novo sistema de emissão de bilhetes 3. Ligação dos sistemas 4. Verificação dos sistemas | 12 |

Nos Anexos V e VI encontram-se os VSM actual e futuro para as duas equipas.

Com o intuito de demonstrar a dimensão de actividades sem valor acrescentado no processo de produção das duas equipas, apresenta-se de seguida os mapeamentos de fluxo e valor do estado actual para as duas equipas (Figura 4.29 Figura 4.30).

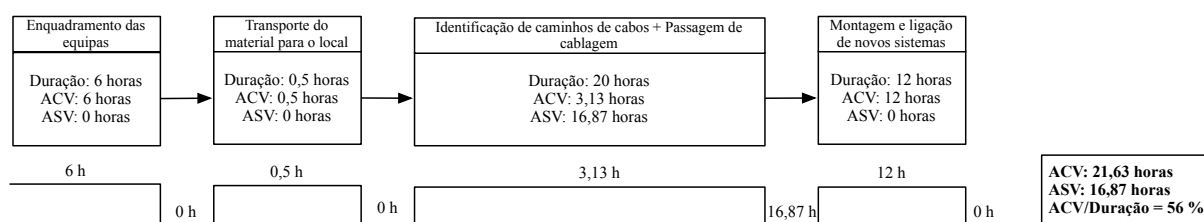


Figura 4.29 - MFV do estado futuro da equipa A

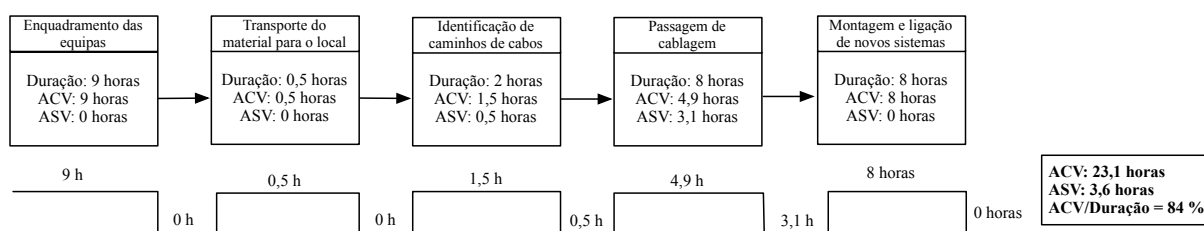


Figura 4.30 - MFV do estado futuro da equipa B

4.5.5. ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DO ESTADO FUTURO

O controlo e metodologia de implementação possui um papel importantíssimo para o êxito da implementação.

As alterações são implementadas e é verificado constantemente se estão a ser cumpridas, de modo a conseguir-se a análise e conclusão das mesmas.

Enquadramento das equipas

Implementação das sinergias BIM-Lean possibilitou analisar toda a infraestrutura num ambiente virtual de dados integrados. Esta análise foi efectuada em conjunto com as duas equipas com a seguinte ordem de trabalhos:

- Eram analisados os objectivos do dono de obra no modelo BIM de forma a garantir uma captura abrangente destes pelas equipas, eram gerados desenhos e imagens 3D explícitos;

- Eram simulados os traçados da cablagem para as duas equipas, e identificadas as áreas relevantes em que cada uma iria trabalhar. Sendo gerados plantas, cortes e imagens 3D com os traçados, o local das condutas e caminhos de cabos, e as zonas representadas;
- Eram identificadas as zonas de acesso condicionado e os equipamentos a serem intervençionados pelas equipas;
- Foram identificadas sinergias entre as duas equipas, e procurou-se que trabalhassem de forma colaborativa, através da sinalização na planta de áreas comuns;
- Era definido um primeiro plano de trabalhos baseado no LPS, tendo como base o modelo. O modelo permitiu dotar as equipas de um conhecimento profundo dos problemas com que se iriam deparar e analisar ao detalhe a infraestrutura de forma a prever eventuais problemas.

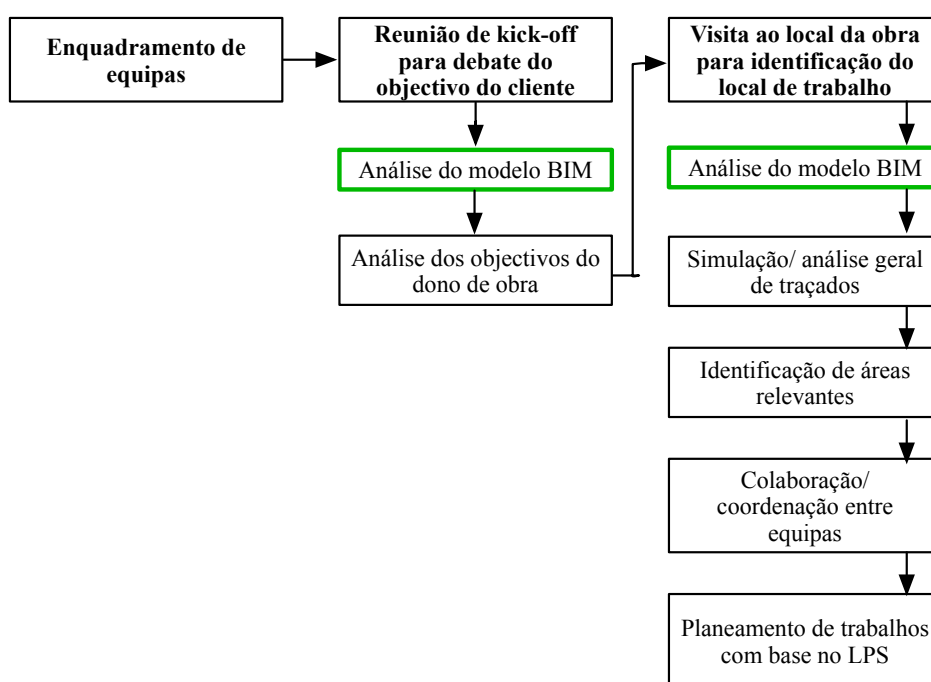


Figura 4.31 - Metodologia de implementação das melhorias

Transporte do material para o local

Nesta actividade não foram implementadas melhorias, o transporte de material só ocorreu no primeiro dia para o local, e dentro do local o material era de porte leve, não era uma condicionante ao fluxo dos trabalhos. De qualquer forma através da melhoria na eficiência do fluxo do processo e conhecimento profundo da zona a intervir, o modelo BIM permitiu evitar deslocações excessivas de pessoal e material à procura dos locais correctos a intervir, se em vez de cablagem se tratasse de uma obra de carácter mais pesado o modelo BIM permitia distribuir os diversos materiais pelos locais exactos.

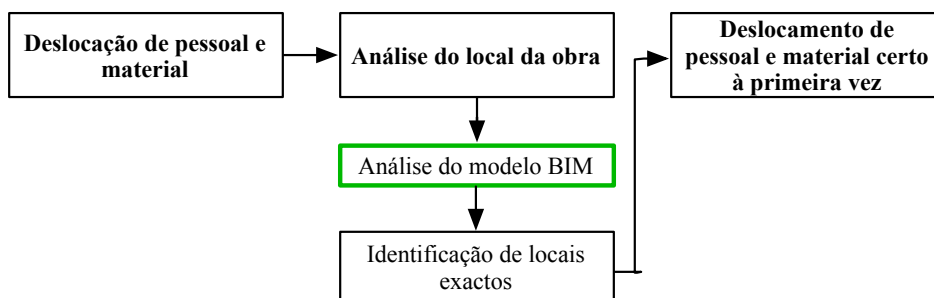


Figura 4.32 - Metodologia de implementação das melhorias

Identificação de caminhos de cabos

Implementação das sinergias BIM-*Lean* possibilitou gerir a intervenção de forma pormenorizada, conseguindo-se dotar as equipas de conhecimento profundo dos trabalhos que iriam realizar e dos locais exactos que tinham de intervir.

Esta actividade passou a ser gerida da seguinte forma:

- As equipas partiam para o terreno com um plano de actividades em seu poder e documentos/ desenhos com a localização exacta das zonas a intervir e ainda as condicionantes, caso existissem, aos trabalhos desse dia;
- Através de uma reunião no final do dia, o autor actualizava o modelo com informação transmitida pelas equipas, e analisava as possíveis zona a intervir no dia seguinte;
- Eram disponibilizadas às equipas imagens 3D de zonas mais complexas;
- Através de todo este processo, conseguiu-se gerir visualmente o trabalho das equipas e aumentar a colaboração entre elas. Optimizando assim todo o processo, e eliminando actividades que não acrescentam valor e trabalhos repetidos, as equipas faziam bem e à primeira.

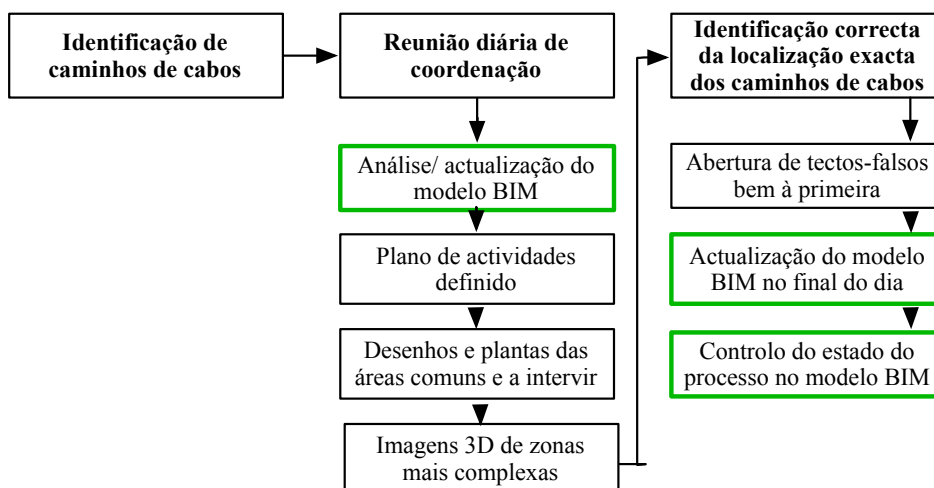


Figura 4.33 - Metodologia de implementação das melhorias

Passagem de cablagem

Como na actividade anterior as sinergias BIM-*Lean* possibilitaram gerir a intervenção de forma pormenorizada, conseguindo-se dotar as equipas de conhecimento profundo dos trabalhos que iriam realizar e das suas condicionantes.

Esta actividade passou a ser gerida da seguinte forma:

- As equipas partiam para o terreno com um plano de actividades em seu poder e documentos/ desenhos com a localização exacta das zonas a intervir e ainda as condicionantes, caso existissem, aos trabalhos desse dia;
- Através de uma reunião no final do dia, o autor actualizava o modelo com informação transmitida pelas equipas, e analisava as possíveis zona a intervir no dia seguinte;
- Eram disponibilizadas às equipas imagens 3D e cortes de zonas mais complexas, permitindo às equipas visualizarem o traçado correcto da cablagem antes e durante a execução dos trabalhos, evitando a passagem de cablagem sem êxito;
- Através de todo este processo, conseguiu-se gerir visualmente o trabalho das equipas e aumentar a colaboração entre elas, permitindo assegurar a não repetição de trabalhos;
- Diariamente o modelo era actualizado com a quantidade de cablagem passada no dia anterior e com situações não contempladas que existiam no local, permitindo assim aos donos de obra ter conhecimento de situações problemáticas existentes e da sua localização exacta, e permitindo às equipas partilhar informação de dificuldades e soluções encontradas para um determinado problema.

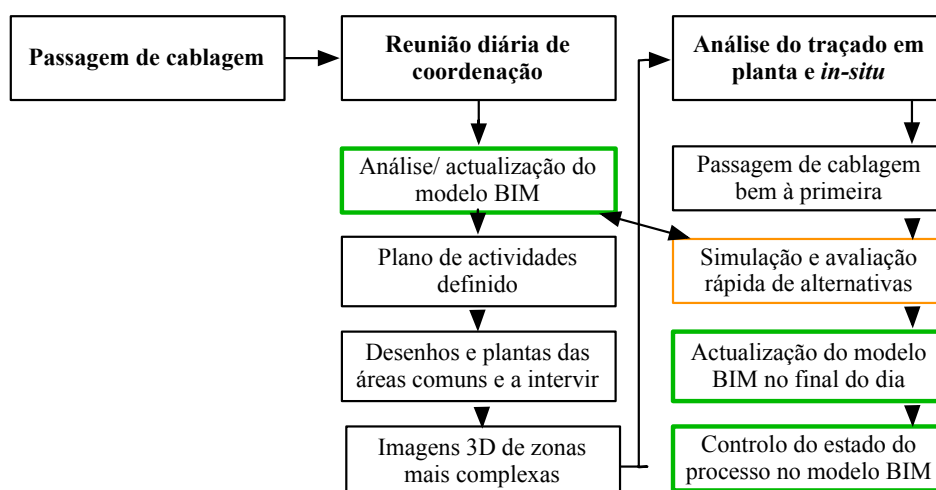


Figura 4.34 - Metodologia de implementação das melhorias

Montagem e ligação dos novos sistemas

Nesta actividade não se introduziu nenhuma melhoria, pois ela era realizada no final de toda a instalação completa, pela mesma equipa, estando portanto todas as precedências completas, sendo que a sua correcta realização dependia apenas dos conhecimentos específicos de electrónica dos membros da equipa, saindo fora do âmbito deste estudo. A única informação relevante que poderia ser introdu-

zida no modelo BIM seriam as características e informações importantes dos aparelhos instalados, para ficar armazenado na base de dados do modelo e poder servir trabalhos de manutenção/ alteração futuros destes equipamentos.

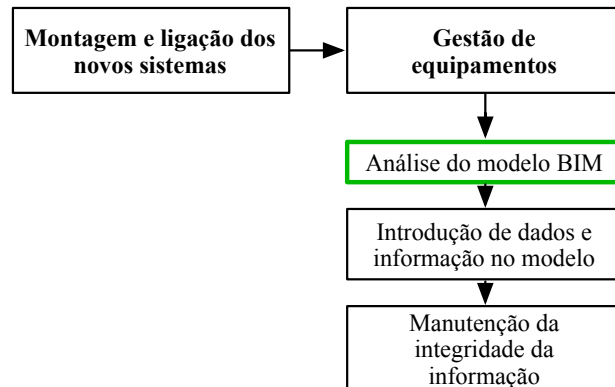


Figura 4.35 - Metodologia de implementação das melhorias

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo é composto por uma discussão e análise das sinergias BIM-*Lean* na fase de construção do caso de estudo. Será analisada a forma como as ferramentas BIM e técnicas *Lean* foram implementadas e quais os problemas e benefícios que derivam da sua aplicação na fase de construção.

5.1. CASO DE ESTUDO

5.1.1. CRIANDO O MODELO

O autor foi o responsável pela elaboração do modelo, a sua actualização e a sua utilização para controlo e planeamento em obra. O modelo foi desenvolvido no *Revit®* a partir de plantas 2D, como já descrito, e o detalhe foi escolhido tendo em conta o nível dos trabalhos a realizar.

Os membros das equipas eram responsáveis pela transmissão de informação ao autor todos os dias no final da obra, para o modelo ser actualizado com a última informação e ser utilizado na gestão do processo, estando o mais próximo possível da realidade.

O tempo que se perde a criar um modelo BIM a partir de desenhos 2D, pode ser uma barreira à implementação desta metodologia, mas as mais valias estão subjacentes, e o retorno do investimento é visível logo na fase inicial de utilização do modelo, sendo visível na secção 5.2 os tempos ganhos derivados da existência de um modelo BIM.

O modelo foi muito bem aceite por todos os envolvidos na obra, e demonstrou ser uma grande mais valia nesta obra.

5.1.2. FLUXO DE INFORMAÇÃO

Para se conseguir obter o melhor partido de um modelo BIM, em termos de tempo e custo, era necessário garantir que todos os envolvidos no processo tivessem acesso à informação actualizada, todos os dias no local, através da distribuição de plantas, desenhos, imagens, etc. com toda a informação actualizada e relevante à correcta execução do plano de trabalhos.

No caso de ocorrer uma falha na transmissão de informação de um dos lados, todos os envolvidos no processo eram afectados. Isto acontece porque, na decisão de novas soluções, caso não exista esta partilha de informação actualizada poderão não ser tidos em conta todos os factores condicionantes.

Garantindo um modelo actualizado e preciso, não é possível a nenhum dos envolvidos no processo dizer que não tinha determinada informação, para justificar uma solução mal executada.

Durante as reuniões de coordenação, e depois de analisados os trabalhos para esse dia e distribuídos os documentos de suporte aos mesmos, ambas as equipas ficam com uma visão global do que será executado nesse dia, adquirindo assim uma antevisão do que irá ser feito.

5.1.3. PLANEAMENTO DO TRABALHO

O modelo foi basicamente uma ferramenta utilizada para coordenação dentro da equipa, e entre a equipa e o dono de obra. Sem plantas digitais das infra-estruturas e com prazos de execução curtos, foi de extrema importância ter um modelo 3D que permitisse identificar de forma rápida e directa as redes a substituir, as possíveis colisões e a geração rápida e automática de alternativas de projecto. Algo que era impossível fazer com os desenhos em papel existentes, pois eram opacos e de impossível sobreposição.

Uma das grandes utilizações do modelo foi no planeamento e preparação dos trabalhos para a identificação e substituição das redes de cablagem. As equipas ficaram impressionadas com a precisão do modelo e extremamente agradadas com o facto de saberem a localização exacta dos tectos-falsos a abrir. Podendo assim, prever de forma mais rigorosa a duração das actividades e a melhor sequência de tarefas a empregar.

No caso das zonas mais complexas, foi possível entregar imagens 3D e cortes a explicar qual a localização exacta da conduta a intervir.

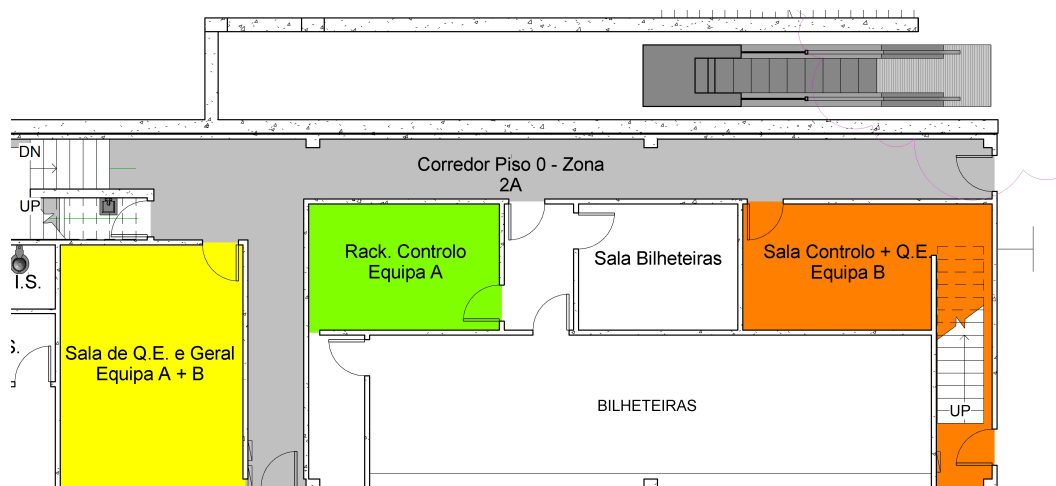


Figura 5.1 - Planta de áreas relevantes a cada uma das equipas

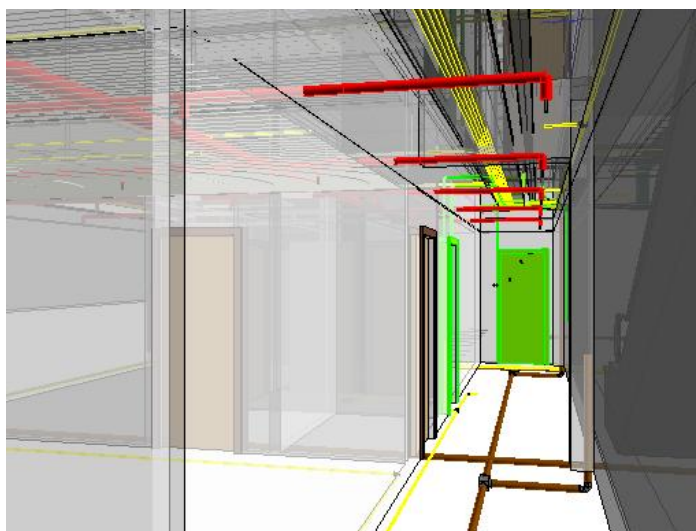


Figura 5.2 - Imagem 3D com condutas à vista

5.1.4. UTILIZAÇÃO DO MODELO NA OBRA

Visualização

Durante as reuniões existiu uma grande vantagem da utilização de BIM que se repete constantemente: a visualização. Todos os envolvidos no processo referiram que o facto de se poder visualizar o que vai ser feito, de várias perspectivas é uma grande ajuda. Apesar de o modelo não ser utilizado para efectuar um planeamento detalhado, serviu para coordenação dos trabalhos durante as reuniões; a utilização repetida do modelo permitiu dotar as equipas de um conhecimento profundo da infraestrutura, especialmente de zonas mais complexas.

O modelo era utilizado para retirar imagens 3D de forma a clarificar algumas partes mais complexas da infraestrutura. Estas imagens 3D em conjunto com as plantas ajudavam os trabalhadores a perceber o que tinham de fazer. Foi possível identificar todos os locais de passagem da cablagem.

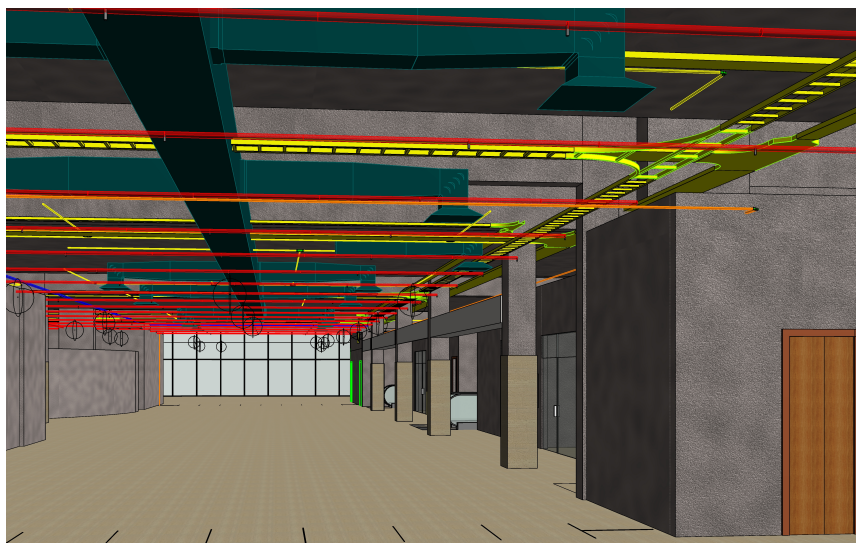


Figura 5.3 - Imagem 3D com infraestruturas à vista

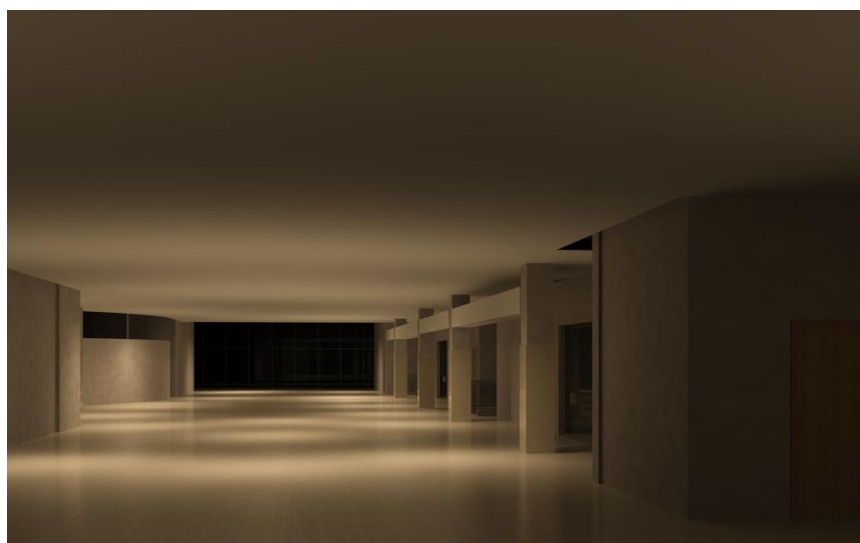


Figura 5.4 - Imagem 3D sem infraestruturas à vista

Coordenação, colaboração e planeamento

Uma boa preparação dos trabalhos conduz a uma diminuição dos riscos associados às actividades, aumenta a qualidade das soluções e optimiza o processo de construção, permitindo cumprir prazos mais curtos e minimizar custos derivados de actividades mal executadas. Mas para se identificar riscos associados às actividades é necessário ter um bom conhecimento do que vai ser feito, é aqui que entra o modelo BIM, a possibilidade de visualizar e controlar o processo num ambiente 3D ajudou a identificar os riscos na fase de construção, como foi o caso de colisões com elementos estruturais, as áreas de forte afluência de passageiros, os locais de acesso condicionado e os locais de difícil acesso.

O modelo BIM permitiu ainda abordar as actividades segundo uma perspectiva com base no LPS, sendo possível identificar os recursos necessários para cumprir determinadas actividades, como foi o caso de locais mais expostos, que colocavam em causa a segurança dos passageiros, locais onde era necessário solicitar o seu acesso ou mesmo zonas em que eram necessárias escadotes mais altos que o normal.

Logística

Quando se fala de logística refere-se ao conjunto global de todos os equipamentos, materiais, actividades, pessoal, etc., que fazem parte de um projecto de construção. O modelo BIM contém toda esta informação sobreposta, o que permite analisar o impacto que uma actividade terá noutra, identificar o melhor local para colocar determinado equipamento, a melhor forma de aceder a determinado espaço, ou seja, foi possível analisar a globalidade do modelo de forma a optimizar todas as soluções da melhor forma possível. Este foi um dos factores que mais contribuiu para a eficiência do processo, nesta obra as infraestruturas a intervir não eram visíveis e encontravam-se numa área de difícil acesso. Quanto maior era o conhecimento da infraestrutura e das possíveis sinergias entre as equipas, maior era a eficiência no fluxo dos trabalhos.



Figura 5.5 - Imagem 3D da infraestrutura com caminhos de cabos à vista

5.2. SINERGIAS BIM-LEAN NO CASO DE ESTUDO

Enquadramento das equipas

Esta actividade passou a contemplar duas subactividades que foram a análise virtual da infraestrutura e a escolha da melhor solução e traçado virtual da cablagem. Garantiu-se assim a escolha de uma solução livre de colisões, identificou-se para a equipa A todas as portas que teriam um novo controlo de acesso, a forma de acesso às infraestruturas para as duas equipas, as condicionantes aos trabalhos e permitiu ainda identificar sinergias e colisões entre as equipas.

O modelo BIM foi utilizado para criar um planeamento geral de actividades para as duas equipas. Posteriormente na fase de construção era realizada uma reunião de coordenação diária, que durava cerca de uma hora para as duas equipas, para analisar/ actualizar o modelo e definir o plano de actividades diário com base no LPS.

A actividade de abertura e fecho de tectos-falsos, passou a estar coordenada entre as duas equipas, ou seja, identificou-se áreas comuns e os tectos-falsos abertos por uma equipa eram fechados por outra.

Quanto a colisões de projecto, foi desde logo possível identificar as zonas críticas, o acesso a áreas restritas foi marcado nas plantas, as zonas de possível colisão com elementos estruturais foi sinalizada, como era o caso das duas vigas principais de suporte à plataforma ferroviária, que limitavam o espaço existente para a passagem de mais cablagem, derivado dos caminhos de cabos estarem lotados. Situações como esta estavam previstas assim como a forma de as contornar.

Através de uma reformulação da estratégia de abordagem dos trabalhos, de uma generalizada para uma mais profunda e detalhada foi necessário mais tempo para analisar os trabalhos a realizar (Figura 5.6), no entanto na fase de execução recuperou-se este tempo.

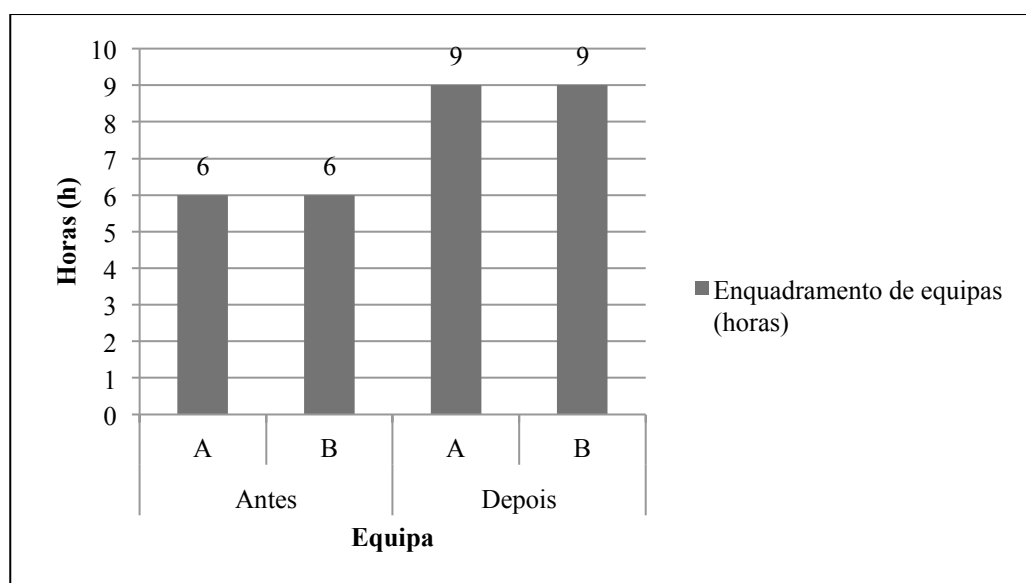


Figura 5.6 - Gráfico da actividade: enquadramento das equipas

A duração desta actividade foi medida desde o início até ao seu final. A reunião era realizada em conjunto com as duas equipas subcontratadas mais a equipa responsável pela manutenção da infra-estrutura. Posteriormente era analisado o modelo BIM em conjunto com as duas equipas.

Este acréscimo de duração deve-se a:

- Gestão visual do objectivo do cliente no modelo BIM;
- Necessidade de mais tempo para analisar o modelo BIM, na simulação dos trabalhos e escolha da melhor solução;
- Elaboração de um planeamento das actividades.

Transporte do material para o local

Apesar do material ser de porte leve, não condicionando directamente o fluxo dos trabalhos, através do conhecimento da localização exacta dos espaços a intervir, foi possível reduzir deslocações desnecessárias com pessoal e material.

Identificação de caminhos de cabos

O modelo BIM permitiu identificar a localização exacta de todos os caminhos de cabos, possibilitando às equipas saber exactamente os tectos-falsos a abrir, abrindo apenas os necessários.

Como as actividades estavam agora planeadas, no caso das áreas de acesso restrito este era perdido antecipadamente, acabando os tempos de espera associados à chegada de alguém que garantisse esse acesso.

Eram realizadas reuniões diariamente para definir o plano de actividades e actualizar o modelo BIM com informação do dia anterior, para garantir uma gestão eficaz do processo. Este conhecimento e planeamento por parte das equipas, acabou por agilizar todo o processo.

Em termos de planeamento de actividades, separou-se a actividade de abertura de tectos-falsos da de passagem de cablagem, isto permitiu garantir que caso fosse necessário ter mais ou menos folga no cabo, se conseguia fazê-lo mais facilmente e avaliando sempre se este se mantinha dentro dos caminhos de cabos.

Conseguiu-se aumentar o rendimento desta frente de trabalho numa média de aproximadamente 100%, passando de 3 para 6 tectos-falsos “correctos” abertos por hora. Este acréscimo de rendimento deve-se a:

- Plano de actividades definido e focado;
- Desenhos e documentos de suporte à identificação dos tectos-falsos a abrir;
- Equipas dotadas de uma visão e conhecimento da infra-estrutura a intervir;
- As equipas antes de iniciarem os trabalhos já têm uma visão global dos trabalhos a realizar e dificuldades que vão encontrar.

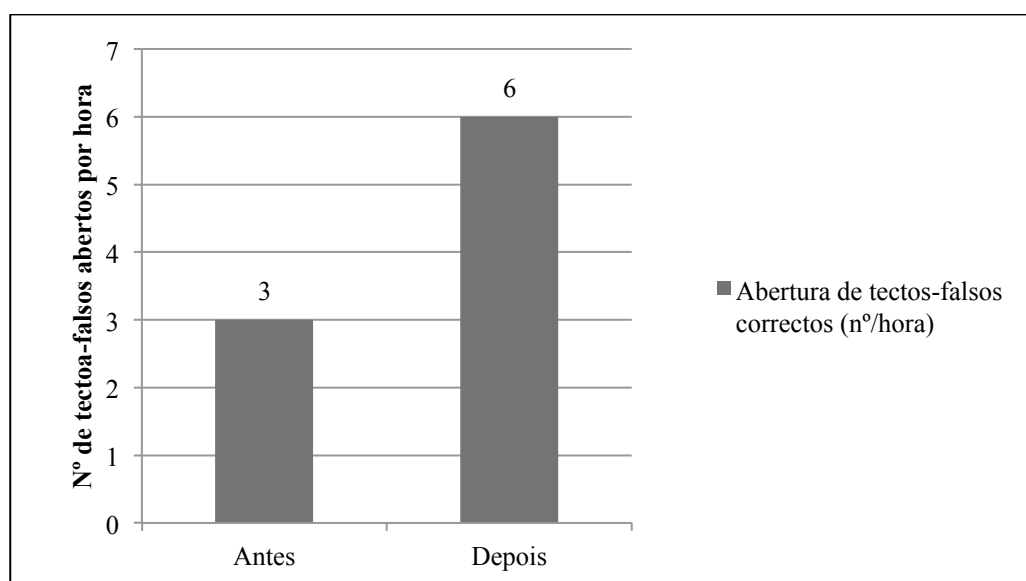


Figura 5.7 - Gráfico do rendimento da actividade "abertura de tectos-falsos"

O rendimento desta actividade foi medido como descrito na secção 4.5.3. e a metodologia seguida está representada na Figura 4.24. Foi considerado um período de quatro horas e medida a quantidade que se conseguia elaborar durante esse período.

Através da implementação das melhorias descritas na secção 4.5.3. obteve-se ainda os seguintes benefícios:

- Eliminação de actividades sem valor acrescentado, através da diminuição dos trabalhos repetidos, da variabilidade e dos tempos de espera. Conseguiu-se uma diminuição na ordem dos 30%;
- Maiores índices de qualidade nos trabalhos, pelo controlo e empenho das equipas no processo.

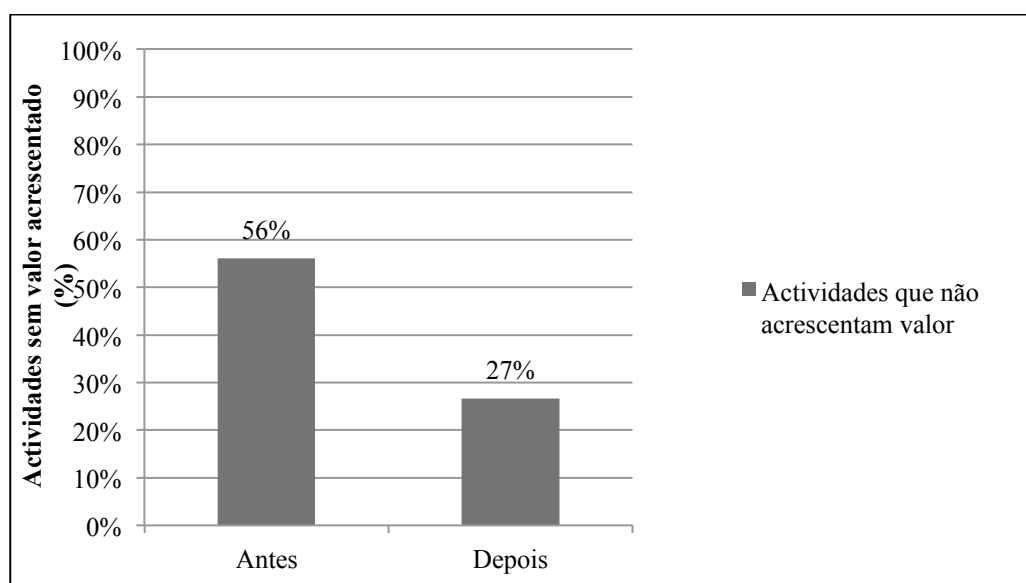


Figura 5.8 - Gráfico da percentagem de actividades que não acrescentam valor

A medição das actividades sem valor acrescentado foi feita seguindo a metodologia descrita na secção 4.5.3. em que eram medidas as durações das actividades em que era identificado um caminho de cabo correcto e as em que isso não acontecia e ponderado em relação à duração total da actividade.

Passagem de cablagem

Mais uma vez aqui, o modelo BIM serviu de plataforma visual do traçado da cablagem. Foram disponibilizadas imagens 3D e cortes de zonas específicas, que permitia às equipas visualizar o traçado correcto da cablagem antes e durante a execução dos trabalhos, evitando assim a passagem de cablagem sem êxito. Sempre que necessário, e por alguma razão, o traçado previsto não tivesse êxito, recorria-se ao modelo BIM para gerar alternativas viáveis à solução prevista.

Eram realizadas reuniões diárias de coordenação para actualizar o modelo com a quantidade de cablagem passada no dia anterior e com situações não contempladas que existiam no local. Era ainda optimizado o plano de actividades diário, e definidas todas as condicionantes aos trabalhos. Os donos de obra obtinham assim conhecimento de situações problemáticas existentes e da sua localização exacta e permitia às equipas partilharem informação de dificuldades e soluções encontradas para determinados problemas.

O modelo foi utilizado como um *pivot* de todo o processo, porque continha toda a informação necessária aos trabalhos a realizar pelas equipas e servia de controlo e gestão do processo, para as equipas e para o dono de obra.

Em termos de planeamento, foi adicionada uma sub-actividade a esta actividade que foi a análise do traçado em planta e *in-situ*.

Conseguiu-se aumentar o rendimento desta frente de trabalho numa média de aproximadamente 125%, passando de 8 para 18 ml/h de cablagem lançada. Este acréscimo de rendimento deve-se a:

- Análise das várias situações possíveis e escolha de uma livre de condicionantes;
- Plano de actividades definido e focado, garante que todos os pré-requisitos necessários às actividades estavam satisfeitos, sendo os trabalhos efectuados com todos os meios necessários disponíveis;
- Documentos e desenhos de suporte aos trabalhos;
- Conhecimento prévio das restrições locais existentes e soluções já definidas para as contornar;
- Bom conhecimento da infraestrutura e trabalhos a realizar, aumenta a eficiência das equipas a trabalhar. Situações de trabalho de repetido e variabilidade diminuíram drasticamente, visto o traçado estar previsto.

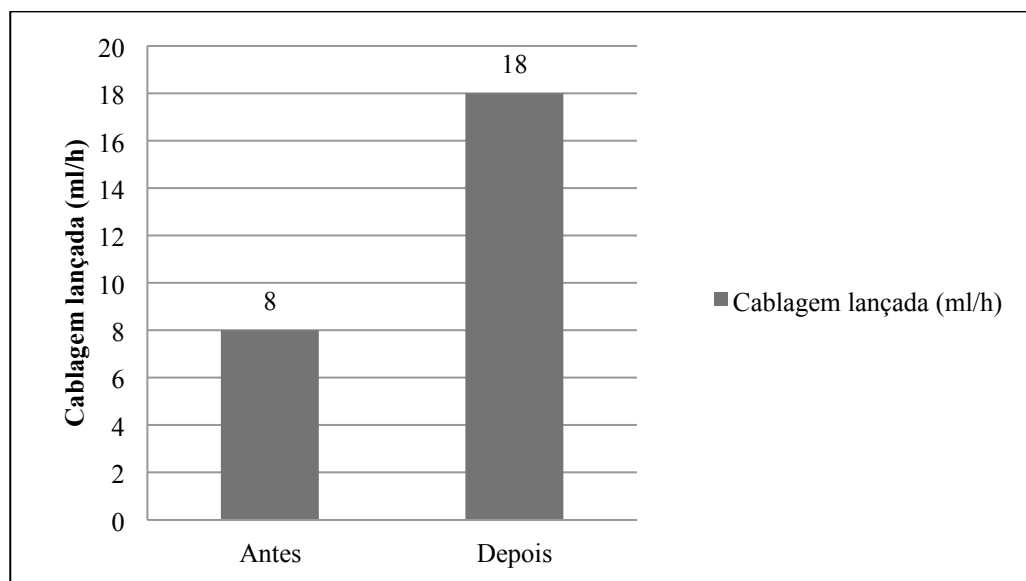


Figura 5.9 - Gráfico do rendimento da actividade: cablagem lançada

O rendimento desta actividade foi medido como descrito na secção 4.5.3. e a metodologia seguida está representada na Figura 4.25. Foi considerado um período de quatro horas e medida a quantidade que se conseguia instalar durante esse período.

Montagem e ligação dos novos sistemas

Nesta actividade não se introduziu nenhuma melhoria, pois ela era realizada no final de toda a instalação completa, pela mesma equipa, estando portanto todas as precedências completas, sendo que a sua correcta realização dependia apenas dos conhecimentos específicos de electrónica dos membros da equipa, saindo fora do âmbito deste estudo. A única informação relevante que poderia ser introduzida no modelo BIM seriam as características e informações importantes dos aparelhos instalados, para ficar armazenado na base de dados do modelo e poder servir trabalhos de manutenção/ alteração futuros destes novos equipamentos.

5.3. ANÁLISE GERAL

As sinergias BIM-*Lean* são notórias a partir do momento em que se implementa BIM, podendo esta implementação ser inclusive num nível de maturidade relativamente baixo – estágio BIM 1, como foi o caso. Trata-se de um nível de maturidade baixo, na medida em que os dados fluíam apenas numa direcção, o autor era o responsável pela modelação, actualização, alteração do modelo e comunicava os resultados aos intervenientes em obra. Como se pode verificar em obra, a existência de um modelo BIM da gare ferroviária, acrescentou uma dimensão visual ao projecto, que era inexistente até aí. Aliando esta capacidade de visualização, a toda a informação e formas de exportação da mesma presentes no modelo BIM, foi possível dominar por completo os trabalhos e a infraestrutura em estudo, tornando fácil a tarefa de gestão da mesma e permitindo implementar, de forma fácil, algumas ferramentas *Lean*, como foi o caso do planeamento das actividades com base no LPS.

Em termos de princípios da *Lean Construction* verificou-se como grande parte deles são paralelos a uma abordagem BIM. A partir do momento em que se optou pela introdução de um modelo BIM na segunda fase dos trabalhos, houve um enorme contributo para materializar alguns princípios da *Lean Construction*.

Sendo a *Lean Construction* orientada para um objectivo de aumentar a qualidade, diminuir o desperdício e maximizar o fluxo de produção, em termos quantitativos e recorrendo às sinergias BIM-*Lean* estudadas obtiveram-se os seguintes resultados:

- uma diminuição das actividades sem valor acrescentado na ordem dos 30 % para a Equipa A;
- uma eficiência significativa no fluxo de trabalho para a Equipa A, passando a abrir cerca de 3 tectos-falsos a mais por hora;
- uma eficiência no fluxo de trabalho para a Equipa B na ordem dos 125%;
- um aumento significativo da qualidade e empenho nos trabalhos pelos trabalhadores;
- uma redução na duração global das duas actividades mais condicionantes (identificação de caminhos de cabos e lançamento de cablagem) na ordem dos 56% para a Equipa A e na ordem dos 50% para a Equipa B, como se pode verificar na Figura 5.10;
- houve um acréscimo de cerca de 5 horas gastos com a análise do modelo BIM para cada uma das equipas, que corresponde às reuniões de coordenação na fase de construção e à análise visual dos trabalhos na fase de enquadramento das equipas.

Em termos de sinergias encontradas neste caso de estudo, as que se verificaram mais relevantes foram:

- visualização 3D do projecto;
- simulação das várias soluções de projecto;
- coordenação de actividades através do modelo BIM;
- controlo visual do estado do processo;
- planeamento baseado no LPS e com apoio do modelo BIM.

Tendo contribuído directamente para implementação dos seguintes princípios *Lean*:

- redução da variabilidade;
- redução do trabalho repetido;
- redução do desperdício;
- redução dos tempos de ciclo;
- aumento da eficiência do fluxo;
- aumento da qualidade das soluções;
- aumento da transparência e colaboração no projecto.

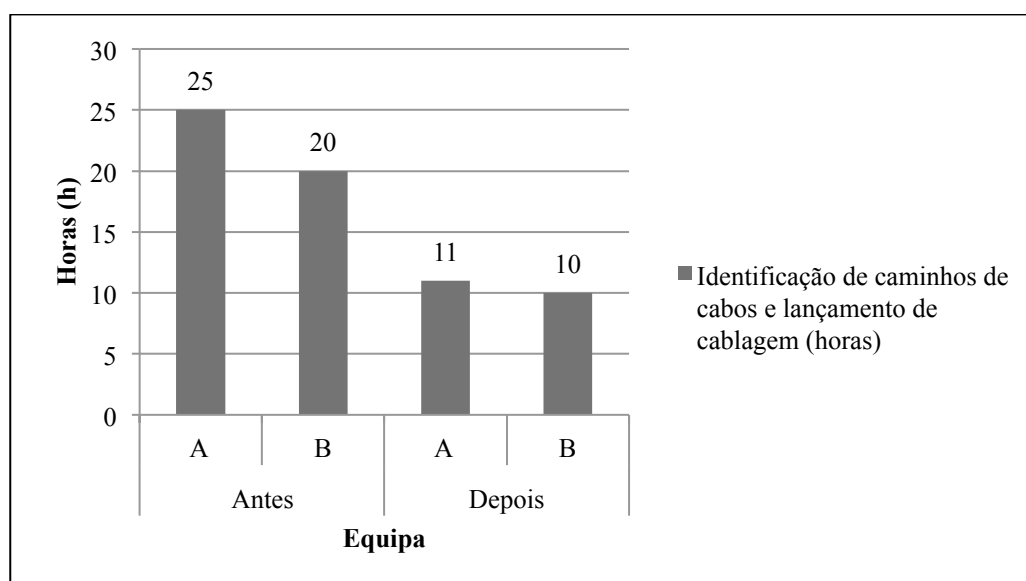


Figura 5.10 - Gráfico da comparação das durações antes e depois de implementadas melhorias

Através da análise da Figura 5.10 podemos verificar que a implementação das melhorias teve um efeito nivelador no desempenho das equipas, isto pode ser explicado pelo facto de todo o processo se ter tornado mais *Lean* e estandardizado. O plano de actividades era igual para as duas equipas e os trabalhos muito semelhantes, logo a eliminação de variabilidade nas actividades, e trabalhos repetidos conduziu a uma redução dos tempos de ciclo, isto é, as equipas estavam focadas numa solução e sabiam que essa solução era eficaz, logo aplicavam-na como se um processo industrial se tratasse, sem actividades redundantes e suposições.

Benefícios para o dono de obra

Como descrito na análise do caso de estudo, sendo uma infraestrutura de elevada utilização temos uma série de condicionantes que não acontecem nas infraestruturas comuns, sendo elas:

- Necessidade de garantir a circulação e acesso de elevados fluxos de utentes durante todo o dia, garantido a sua segurança;
- Impossibilidade de encerrar os espaços para as intervenções;
- Necessidade de garantir o funcionamento de todos os sistemas, nomeadamente os de segurança;
- Inexistência de períodos suficientemente longos de encerramento de infraestrutura que permita a realização de intervenções;
- Necessidade de repor as situações mínimas para que a infraestrutura funcione com as condições adequadas segurança.

Todos os trabalhos, sejam eles de manutenção, alteração, exploração, etc, vêm comprometer os pontos descritos anteriormente e o correcto funcionamento da infraestrutura. Todos os meses ocorrem intervenções de manutenção na infraestrutura, colocando em causa o seu normal funcionamento, já que a grande maioria é ao nível das infraestruturas MEP e realizados por equipas diferentes, muitas

vezes sem um plano de trabalhos bem definido e com um conhecimento deficiente da infraestrutura. Estas situações conduzem não apenas a longos períodos de trabalho, como frequentemente originam:

- Traçados de sistemas mal executados, que comprometem o correcto funcionamento dos equipamentos, como é o caso da constante substituição de cablagem antiga por nova, deixando a antiga ficar, cabos enrolados e fora dos caminhos de cabos ou outros demasiado tencionados contra a estrutura;
- Acessos desadequados podem colocar em causa a segurança dos trabalhadores, como é o caso da deslocação de trabalhadores de “gatas” em cima de tectos-falsos a 3,5 metros de altura, podendo ainda danificar outros equipamentos;
- Execução de trabalhos com uma qualidade inferior e sempre na tentativa da escolha da solução mais fácil e não a mais eficaz, para diminuir o tempo de intervenção;
- Ausência de documentos e desenhos que possibilitem o controlo por parte do dono de obra dos trabalhos efectuados, acabando este por não ter um levantamento preciso das infraestruturas instaladas e sempre que necessita de resolver uma situação pontual volta-se à estaca zero de apenas se “supor” o local onde poderá estar o problema.

Concluindo, em termos de benefícios para o dono de obra é importante referir que a implementação das sinergias BIM-*Lean* conduziu a aumentos do fluxo de produção, reflectindo-se em tempos mais curtos de zonas condicionadas à utilização por utentes, a uma garantia de maiores índices de qualidade e segurança nos trabalhos, ao melhor controlo dos sistemas e traçados instalados pelo dono de obra.

Para a equipa responsável pela segurança da estação, a presença do modelo BIM permite fazer uma gestão mais planeada do reforço da segurança e ter conhecimento das áreas a serem intervencionadas e analisar através do modelo se existe ou não possibilidade de acesso a outras zonas remotas. Estamos assim perante todo um processo integrado que tem como ponto central o modelo BIM.

Um outro aspecto muito importante a considerar é que, no futuro, se for implementada uma gestão baseada em BIM, uma grande parte do modelo já está criado, podendo agora ser complementado com toda a informação em falta. Assim será muito mais fácil planear e organizar intervenções futuras, sejam estas de operação ou manutenção. Existem muitos pormenores relevantes para o correcto funcionamento da infraestrutura que podem ser introduzidos e geridos a partir de um modelo BIM.

6. CONCLUSÕES

Todos os objectivos delineados nesta dissertação foram alcançados. Foram analisadas as sinergias BIM-*Lean* e a adequabilidade e benefícios da aplicação de uma gestão integrada deste tipo a obras de manutenção em infra-estruturas de elevada utilização.

Em primeiro lugar procedeu-se à realização de um estudo intensivo sobre a tecnologia BIM, de forma a compreender os princípios e ferramentas que a definem assim como o modo de aplicação e implementação em obra.

Em segundo lugar realizou-se um estudo profundo sobre a *Lean Construction*, para se compreender quais os princípios e ferramentas em que se baseia, tendo sido efectuada uma caracterização de todos os princípios *Lean* e modo de aplicação de cada um deles em obra.

Através da caracterização de todos os princípios *Lean* e funcionalidades BIM, analisou-se de que forma estas funcionalidades potenciam a implementação dos princípios *Lean* e os benefícios que uma gestão integrada BIM-*Lean* traz a este tipo de obras.

Para aplicação das sinergias BIM-*Lean* a este tipo de obras foi realizada, numa primeira fase uma análise dos processos construtivos actuais utilizados pelas empresas de construção. Este trabalho foi elaborado recorrendo à técnica *Lean* do *Value Stream Mapping* (VSM) do estado actual, identificando todos os processos existentes e modos de funcionamento. Numa segunda fase identificou-se o desperdício existente nos processos levantados, determinando quais daqueles diminuem o fluxo de produção. Seguidamente, através da implementação de técnicas *Lean* e recorrendo a ferramentas BIM, foi elaborado um MFV do estado futuro, tendo este sido implementado em obra. Por fim realizou-se uma análise e comparação de resultados antes e depois de introduzidas as melhorias, compreendendo-se os benefícios inerentes.

Este trabalho demonstra que é possível diminuir os desperdícios existentes e aumentar a eficiência de alguns processos através da aplicação integrada das técnicas *Lean* com as ferramentas BIM. As ferramentas *Lean* implementadas neste caso foram: 5S, *Kaizen*, *Last Planner System* e VSM. Foram ainda destacadas da filosofia *Lean* as definições de planeamento, coordenação e controlo de actividades.

Através do modelo BIM do caso de estudo foi possível gerar um suporte visual 3D do local de intervenção e do *workflow* tornando assim possível identificar as várias restrições existentes no local e detectar possíveis colisões e conflitos durante a obra.

Recorrendo à técnica do LPS e ao modelo BIM foi possível planear entre os vários participantes a melhor sequência dos trabalhos a realizar, reduzindo para cerca de metade a duração das actividades.

Ao nível do planeamento algumas actividades sofreram modificações, uma vez que estavam mal estruturadas e certos processos não acrescentavam valor e diminuía a produtividade, como era o

caso da identificação da localização dos caminhos de cabos e do lançamento de cablagem, conseguindo-se reduções de cerca de 30% nas actividades sem valor acrescentado e um aumento significativo do rendimento das equipas.

Todas as actividades estão sujeitas a um processo de melhoria contínua denominado *Kaizen*, que em conjunto com o modelo BIM permitiu alcançar um trabalho final de valor acrescido.

Com a utilização de 5S, conseguiu-se organizar a frente de trabalho, garantindo uma gestão mais eficaz do espaço, aumento do rendimento e maior segurança.

6.1. COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO ACTUAL E BIM

Embora a utilização do BIM esteja a aumentar rapidamente, a sua forma de implementação está a seguir muitas abordagens diferentes. A maior parte das vezes, as equipas de projecto não criam modelos para o projecto e são as empresas contratadas que tomam posse do processo de modelação.

Apesar do uso de BIM por parte de arquitectos estar a tornar-se vulgar, as empresas contratadas têm necessidade de modelar equipamentos adicionais e adicionar informações específicas para estes modelos serem úteis para eles. Muitos empreiteiros têm vindo a criar os seus próprios modelos de edifícios a partir do zero, para apoiar a coordenação, a detecção de conflitos, a compatibilização de projecto, estimar custos e quantidades de forma automática e utilizar detalhes para fabricação e pré-montagem. A Figura 6.1 representa um fluxo de trabalho comum quando um empreiteiro cria um modelo BIM a partir de desenhos 2D e quais os benefícios que advêm desse modelo.

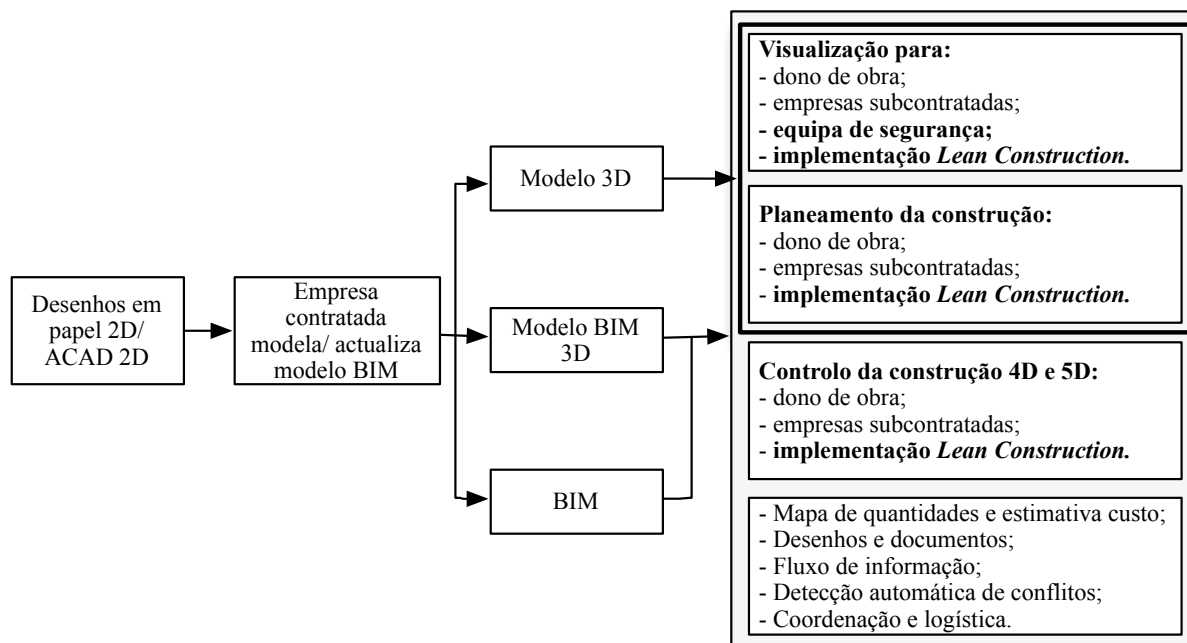


Figura 6.1 - Fluxo de processo BIM em projectos onde a empresa contratada modela modelos BIM a partir de desenhos 2D (adaptado de Eastman *et al.*, (2011))

É importante notar que, em alguns casos, o empreiteiro está a construir um modelo 3D que é apenas uma representação visual do projecto. Não contendo objectos paramétricos ou relações entre eles. Nestes casos, o uso do modelo é limitado à detecção de conflitos, análise da construção, visuali-

zação e planeamento visual 4D. Nestes casos o modelo 3D não define elementos discretos quantificáveis para apoiar a elaboração de mapas de quantidades, estimativas de custos ou utilização para coordenação entre as várias especialidades.

Noutros casos, as empresas contratadas desenvolvem um modelo híbrido BIM 3D que inclui já componentes BIM e relações paramétricos entre elementos, que apoiam a coordenação, mapas de quantidades e estimativas de custos.

Por fim, quando as empresas contratadas desenvolvem um modelo BIM de construção integral, elas podem aproveitá-lo para inúmeros fins, podendo utilizar o modelo para controlo em tempo real do fluxo de processos na obra.

Com o intuito de resumir as grandes diferenças entre a metodologia actual e a metodologia BIM de entrega de projecto, a Figura 6.3 demonstra uma comparação entre o processo tradicional e o processo colaborativo baseado em BIM, como o IPD, das entregas dos projectos de construção por parte das empresas contratadas.

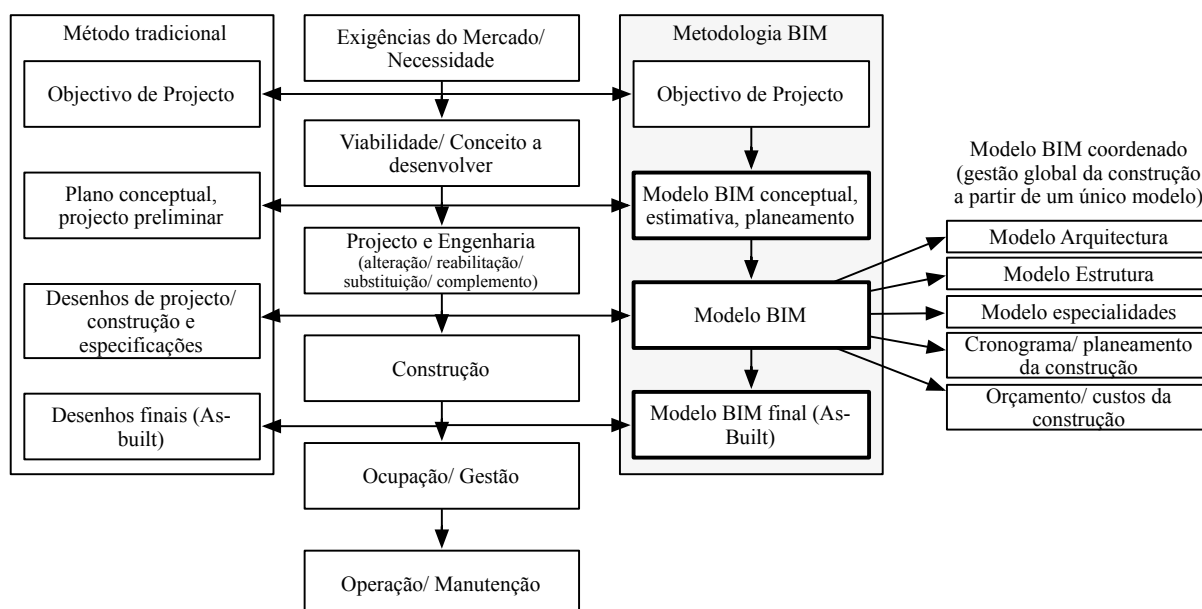


Figura 6.2 - Processo tradicional em comparação com processo IPD, de entregas de projectos de construção por empresas contratadas (adaptado Eastman *et al.*, (2011))

6.2. PROPOSTA DE MÉTODO DE IMPLEMENTAÇÃO EM OBRAS DE MANUTENÇÃO

Nesta dissertação desenvolveu-se um modelo BIM híbrido. Para a elaboração de um modelo deste género e aproveitamento máximo do seu potencial torna-se necessário garantir uma partilha de informação entre todos os envolvidos. Deve também partir do dono de obra a solicitação do desenvolvimento de um modelo BIM na adjudicação da obra. A equipa contratada poderá converter os desenhos 2D num modelo BIM 3D, ou no caso de não ter capacidade para o fazer, deve procurar esse serviço num consultor externo. O modelo é depois gerido pelo consultor ou pela empresa contratada e utilizado por todas as partes envolvidas em trabalhos de exploração/ manutenção na infraestrutura.

Este modelo passa a ser a base para toda a actividade de construção e permite uma precisão muito maior do que desenhos 2D.

A Figura 6.3 demonstra um modelo conceptual para implementação/ utilização de um modelo BIM numa infraestrutura existente, para utilização em trabalhos de manutenção/ exploração/ operação da mesma.

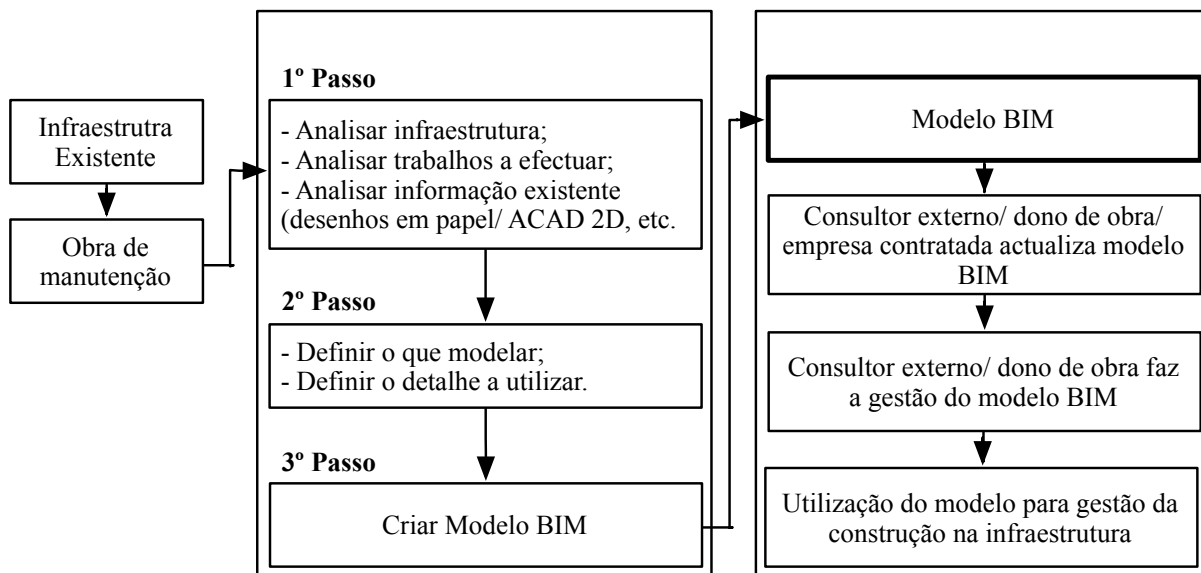


Figura 6.3 - Esquema proposto de utilização do modelo BIM em obra

O primeiro passo para a implementação BIM tem de ser dado pelo dono de obra, mesmo que o Dono de Obra seja o estado, ou então desenvolvido por um consultor externo que se proponha a elaborar um modelo BIM da infraestrutura. Depois de elaborado o modelo BIM, deverá demonstrar-se à entidade exploradora do espaço os benefícios e vantagens de ter este modelo. Numa fase seguinte o consultor ou a entidade exploradora, mediante formação, deve manter e actualizar esse modelo ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento.

É interessante mencionar que no caso de estudo em questão, depois da presença de um modelo BIM em obra, nenhuma equipa dava um passo sem antes consultar o referido modelo, existindo por parte das equipas a preocupação de fornecer dados para a actualização do mesmo.

O presente trabalho permitiu verificar que o *Lean* e o BIM, através da utilização de um modelo gerado com a plataforma *Revit*® têm pontos de contacto fundamentais e juntos trazem benefícios importantes a esta actividade complexa que é a construção, contribuindo significativamente para a industrialização da mesma.

6.3. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A dimensão e pouca heterogeneidade dos trabalhos analisados em obra, limitou a visualização do potencial completo da existência de um modelo BIM.

Para garantir que fosse utilizada sistematicamente uma gestão integrada deste tipo era necessário dotar os coordenadores de obra de *know-how* sobre um *software* BIM e garantir um controlo rigoroso de todas as actividades para que os executantes cumpram com o estipulado.

6.4. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como foi referido no capítulo 3.2, este estudo contemplou uma obra de exploração de substituição de parte da rede de cablagem de uma infra-estrutura de elevada utilização.

Tendo os resultados sido bastante positivos, poderá considerar-se a hipótese de analisar os benefícios e custos de uma implementação de uma gestão BIM-*Lean* em infra-estruturas de grande dimensão e utilização. É de realçar novamente o referido pelo Instituto da Indústria da Construção Americano em que, cerca de 65 a 80% dos gastos com um edifício, são em manutenção e exploração (Yang e Wang, 2010).

Torna-se também relevante quantificar o potencial de uma gestão deste tipo como solução para os principais atrasos e desperdícios na construção Portuguesa, para uma futura implementação em todo o tipo de obras.

Pretende-se que este estudo sirva de base para futuros estudos das sinergias BIM-*Lean* e implementação destas em outros tipos de obras e que sirva de incentivo para a adopção por empresas destas estratégias para diminuição de desperdícios e consequentemente aumento de rendimento, qualidade e sustentabilidade económica.

7. BIBLIOGRAFIA

ABDELHAMID, T. e SALEM, O. - *Lean Construction: A New Paradigm for Managing Construction Projects*. The International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infrastructure., 2005.

ABDULMALEK, F. e RAJGOPAL, J. - *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation*. International Journal of Production Economics, 2007.

AECOPS - *Construção: uma visão do futuro - crescimento, estagnação ou recessão?*, 2006.

AECOPS - *Construção: uma visão do futuro.*, 2007.
<http://www.aecops.pt/Downloads/tabid/107/language/pt-PT/Default.aspx> (12/March/2011).

ARSENAULT, J. - *Building Information Modeling (BIM) and Manufactured Complementary Building Products. Integrating design, drawings, specifications, and shop drawings in a BIM model*. 2009.

AUBIN, P. - *Mastering Autodesk Revit Building.*, 2007.

AUTODESK, W. - *Transitioning to BIM*. Autodesk, 2007.

AZHAR, S.; NADEEM, A. e LEUNG, B. - *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*. In : First International Conference on Construction in Development Countries, Pakistan 2008.

BALLARD, G.; KOSKELA, L.; HOWELL, L. e ZABELLE, T. - *Production System Design in Construction*. In : Proceedings of the 9th International Group of Lean Construction Annual Conference, Singapore 2001.

BALLARD, G. - *Improving Workflow Reliability*. In : Proceedings of the 7th International Group of Lean Construction, Berkeley, USA 1999.

BALLARD, G. - *The Last Planner System of Production Control*. Birmingham, Ph.D. thesis, University of Birmingham, 2000.

BALLARD, G. e HOWEL, G. - *Implementing Lean Construction: Understanding and action*. In : IGLC 6 1998.

BALLARD, G. e HOWEL, G. - *Competing construction management paradigms*. In : Proceedings of the Construction Research Conference of American Society of Civil Engineering, Honolulu, Hawai 2003.

BAZJANAC, V. - *Impact of U.S. National Building Information Model Standard (NBIMS) on Building Energy Performance Simulation*. In : Building Simulation 2007 Conference, Beijing 2007.

BELL, H.; KARLSHOJ, J.; KARUD, O.; KIVINIEMI, A. e TARANDI, V. - *Review of the Development and Implementation of IFC Compatible BIM*. Erabuild, 2007.

CENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING (CIFE) - *Measurable Breakthrough 2015 Objectives*. CIFE, 2009. <http://cife.stanford.edu/Mission/index.html> (04/June/2011).

CHITTLA, V. - *Performance Assessment Of Planning Processes During Manufactured Housing Production Operations Using Lean Production Principles*. Master Thesis., 2002.

COUTO, J. e TEIXEIRA, J. - *As Consequências do Incumprimento dos Prazos para a Competitividade da Indústria de Construção - Razões para os Atrasos*. Universidade do Minho, Minho, 2006.

DEMING, W. - *outofthecrisis*. Out Of The Crisis, 2007. <http://www.outofthecrisis.org> (11/Julho/2012).

EASTMAN, C.; FISHER, D.; GILLES, L.; LIVIDINI, J.; YESSIOS, C. e STOKER, D. - *An Outline of the Building Description System, Computer-Aided Design*., págs. 17-26. 1974.

EASTMAN, C.; LEE, G. e SACKS, R. - *Development of a knowledge-rich CAD system for the North American precast industry*. In : Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Indianapolis, pp.208-215. 2003.

EASTMAN, C.; LEE, G. e OLOFSSON, T. - *Benefits and Lessons Learned of Implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) Technologies for Coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) Systems on a Large Healthcare Project*. ITcon, vol. 13 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, p.; SACKS, R. e LISTON, K. - *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling*., WILEY, 2011.

EGAN, J. - *The Report of Construction Task Force*. Department of Trade and Industry, UK, 1998.

EMPIRE STATE BUILDING - *The Official Site of the Empire State Building*. The Official Site of the Empire State Building, 2012. <http://www.esbnyc.com> (11/July/2012).

FROESE, T.; FISCHER, M.; GROBLER, F.; RITZENTHALER, J.; YU, J.; AKINCI, B.; AKBAS, R.; KOO, B.; BARRON, A. e KUNZ, J. - *Industry foundation classes for project management – a trial implementation*. Electronic Journal of Information Technology in Construction, vol. 4 1999.

GALSWORTH, G. - *Visual Systems: Harnessing the power of a visual workplace*. AMACOM/American Management Association, 1997.

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (GSA) - *GSA BIM Guide Series 01 - BIM Guide Overview*., 2007.

GILLIGAN, B. e KUNZ, J. - *VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity*. CIFE Technical Report #TR171. Stanford University, Manchester, 2007.

GRILO, A. e JARDIM-GONÇALVES, R. - *Value proposition of interoperability on BIM and collaborative working environments*. Automation in Construction, 2009.

- HAM, N.; MIN, K.; KIM, K.; LEE, Y. e KIM, J. - *Study on Application of BIM (Building Information Modeling) to Pre-design in Construction Project*. In : Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology 2008.
- HELLMUTH, O. e KASSABAUM - *HOK Revit Cad Standards*. Autodesk White Paper, 2007.
- HOLNESS, G. - *Building Information Modeling Gaining Momentum*. ASHRAE Journal, 2008.
- HOPP, W. e SPEARMEN, M. - *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Irwin/McGraw-Hill, 1996.
- HOWARD, R. e BJÖRK, B. - *Building Information Modeling: Experts' views on standardisation and industry deployment*. Advanced Engineering Informatics, 2008.
- HOWELL, G. - *What is Lean Construction?* In : IGLC 7 1999.
- HOWELL, I. e BATCHELER, B. - *Building Information Modeling Two Years Later - Huge Potencial, Some Sucess and Several Limitations*. 2008.
- HOWELL, G. A. e KOSKELA, L. - *Reforming Project Management: The Role of Lean Construction*. In : Proceedings from 8th Annual Conference on Lean Construction, Brighton, UK 2000.
- HUANG, C. e KUSIAK, A. - *Manufacturing control with a push-pull approach*. Int. J. Prod. Res., vol. 36(1), págs. 251-275. 1998.
- JOSEPH, J. - *BIM: A Business Decision*. In : Autodesk University - Learn, Connect, Explore 2009.
- KHANZODE, A.; FISCHER, M. e REED, D. - *Case Study of the Implementation of the Lean Project Delivery System (LPDS) using Virtual Building Technologies on a Large Healthcare Project*. In : IGLC 13, Australia 2005.
- KIVINIEMI, A.; TARANDI, V.; KARLSHOJ, R.; BELL, H. e KARUD, O. - *Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM*. Erabuild Report, 2008.
- KOSKELA, L. - *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University, 1992.
- KOSKELA, L. - *An exploration towards a production theory of project management*. In : Espoo: VTT Building Technology 2000.
- KOSKELA, L. - *Do - The Eight Category of Waste*. In : Proceedings of the 12th annual conference of International Group for Lean Construction, Elsinor, Denmark 2004.
- KOSKELA, L. e BERTELSEN, L. - *Construction Beyond Lean: A new Understanding of Construction Management*. In : IGLC 12, Dinamarca 2004.
- KRAUS, W.; WATT, S. e LARSON, P. - *Challenges in estimating cost using building information modeling*. AACE International Transactions, vol. IT. 01, págs. 1-3. 2007.
- LAACD - *LACCD Building Information Modeling Standards*. BuildLACCD Los Angeles Community College District , 2009.

LIKER, J. - *The Toyota Way*. McGraw-Hill, 2003.

MADSEN, J. - *Build Smarter, Faster, and Cheaper with BIM*. Building Magazine, nº 102 2008.

MATIAS, J. - - *Levantamento e avaliação dos potenciais benefícios da implementação de Lean Construction na eliminação de desperdício na construção Portuguesa*. Monte da Caparica, Dissertação do grau de mestrado na Universidade Nova de Lisboa, Dezembro 2010.

MOURA, H. e TEIXEIRA, J. - *Competitividade e Incumprimentos das Funções de Gestão na Construção*. Estradas de Portugal, Universidade do Minho, 2007.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (NIBS) - *United States national building information modeling standard, Version 1 - Part 1: Overview, principles, and methodologies.*, 2007.

NUNO, J. - - *Estudo da Adequabilidade e Benefícios da Lean Construction a Obras Rodoviárias*. Monte Caparica, Dissertação do grau de mestrado na Universidade Nova de Lisboa, Dezembro 2011.

OHNO, T. - *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon, Productivity Press, 1988.

PENA-MORA, F. e LI, M. - *Dynamic Planning and Control Methodology for Design/ Build Fast-track Construction Project*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 127 2001.

PENTTILÄ, H. - *Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression*. Electronic Journal of Information Technology in Construction, vol. 11, págs. 395-408. 2006.

PORTUGAL, B., 2009. <http://www.bportugal.pt/pt-PT/EstudosEconomicos/Paginas/default.aspx> (21/Abril/2011).

ROTHER, M. e SHOOK, J. - *Learning to See - Value stream mapping to create value and eliminate muda*. In : The Lean Enterprise Institute, Massachusetts, EUA 1998.

SACKS, R.; DAVE, B.; KOSKELA, L. e OWEN, R. - *Analysis Framework For The Interaction Between Lean Construction and Building Information Modeling*. 17th IGLC Conference, 2009.

SACKS, R.; BARAK, R. e RADOSAVLJEVIC, M. - *Requirements for Building Information modeling based lean production management systems for construction*. Automation in Construction, ELSEVIER, 2010.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE., B. e OWEN, R. - *The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 136 , págs. 968–980. 2010.

SACKS, R.; KANER, I.; EASTMAN, C. e JEONG, Y.-S. - *The Rosewood experiment - Building Information modeling and interoperability for architectural precast facades*. Automation in Construction, 2010.

SACKS, R. e RADOSAVJEVIC, M. - *The Value of Building Information Modeling Interfaces for Construction Management*. University of Reading, 2011.

SACKS, R. e WARSZAWSKI, A. - *A project model for an automated building system: design and planning phases*. Automation in Construction, 2000.

SALEM, O.; GENAIDY, A.; PAEZ, O. e SOLOMONS, J. - *The path from lean manufacturing to lean construction: implementation and evaluation of lean assembly*. Journal of Management in Engineering, 2004.

SCHONBERGER, R. - *World Class Manufacturing: The Next Decade*. The Free Press, 1996.

SEDDON, J. - *Watch out for the toolheads!*. World, 2005.

SHUQUAN, L. e KONGGUO, Z. - *Research on Multi-Objective Optimization of Lean Construction Project*. In : International Conference on MultiMedia and Information Technology, China 2008.

SUCCAR, B. - *Building Information Modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. Automation in Construction, ELSEVIER, 2009.

TAYLOR, J. E. - *Antecedents of successful three-dimensional computer-aided design implementation in design and construction networks*. Journal of Construction Engineering and Management, nº 133, págs. 993-1002. 2007.

TECAD - *Guia Indispensável BIM - NormaBIM.*, 2009.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS - *Integrated Project Delivery: A Guide*. AIA, 2007.

TOLMAN, F. - *Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future*. Automation in Construction, 1999.

TRIBUNAL CONTAS - *Auditoria a empreendimentos de obras públicas por gestão directa - Conclusões e Recomendações do Tribunal de Contas*. Lisboa, 2009.

TURK, Z.; ISAKOVIC, T. e FISCHINGER, M. - *Object-Oriented Modeling of Design System for RC Buildings*. Journal of Computing in Civil Engineering, 1994.

US National Institute of Standards and Technology - *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.*, 2004.

VANLANDE, R.; NICOLLE, C. e CRUZ, C. - *IFC and building lifecycle management*. Automation in Construction, 2008.

VICO SOFTWARE - *Integrating Construction "The Virtual Construction Promise"*. Virtual Construction Brochure, 2008.

VONDEREMBSE, M.; UPPAL, M.; HUANGS, S. e DISMUKES, J. - *Designing supply chains. Towards theory development*. International Journal of Production Economics, 2006.

WOMACK, J.; JONES, D. e ROOS, D. - *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. Rawson Associates, 1990.

WOMACK, J., 2008. <http://www.lean.org/WhatsLean> (12/April/2011).

WOMACK, J. e JONES, D. - *Lean Thinking*. New York, Simon and Schuster. 2000.

WOMACK, J. e JONES, D. - *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster, 2003.

YANG, Z. e WANG, G. - *Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry*. 2010.

YOUNG, N.; JONES, S.; BERNSTEIN, H. e GUDGEL, J. - *The Business Value of BIM - Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*. McGraw_Hill Construction, 2009.

ANEXOS

I. AUTODESK® REVIT®

Para ser possível analisar os benefícios da utilização de ferramentas BIM, foi necessário criar um modelo BIM do espaço referente ao caso de estudo. Para tal foi necessário utilizar software específico, recorrendo-se ao *Autodesk® Revit® Architecture* e *Autodesk Revit MEP*.

O *Autodesk Revit* disponibiliza interoperabilidade 2D e 3D com as aplicações *AutoCAD®*, *Revit® Structure* e *Revit MEP*, garantindo a coordenação de informação entre os vários intervenientes do projecto. O BIM é um novo paradigma do desenho assistido por computador (CAD), que recorre a objectos 3D e elementos 2D inteligentes para representar elementos físicos reais da construção (JOSEPH, 2009).

O *Autodesk® Revit® Architecture* é um modelador paramétrico BIM, especificamente desenhado para arquitectos, engenheiros e profissionais da construção. A tecnologia paramétrica garante maior produtividade, coordenação da documentação de projecto, e consequentemente um maior controlo sobre a qualidade dos projectos (TECAD, 2009).

O *Autodesk® Revit® Structure* utiliza um modelo único inteligente para coordenar as tarefas dos engenheiros e autores de projectos de estruturas, permitindo a ligação automática entre projectos de arquitectura realizados em *Revit® Architecture*, e de estruturas realizados em *Revit® Structure*, prontos para análise estrutural. A documentação de projecto, incluindo lajes, vigas, pilares e armaduras é automatizada em *Revit® Structure*, tendo em conta os dados resultantes do cálculo estrutural (TECAD, 2009).

O *Autodesk® Revit® MEP* é uma solução BIM especificamente desenhada para os profissionais de AVAC, electricidade e canalizações, melhorando a coordenação e maximizando a eficiência dos fluxos de trabalho entre equipas de arquitectura e engenharia, dada a respectiva partilha de modelo único com *Revit® Architecture* e *Revit® Structure*. Permite ainda a análise integrada de desempenho do edifício relativamente ao projecto sustentável, através de conexão directa com soluções ambientais (TECAD, 2009).

COMO FUNCIONA?

O *Revit®* utiliza ficheiros .rvt para armazenar modelos BIM. Normalmente, um edifício é criado utilizando vários objectos 3D, para criar paredes, pavimentos, coberturas, a estrutura, janelas, portas e outros objectos, conforme seja necessário. Estes objectos 3D (como é o caso de portas e janelas) ou elementos 2D (tais como padrões de superfícies) que constituem um edifício, são objectos paramétricos denominados “famílias” e são guardados em arquivos .rfa e importados para o banco de dados do *Revit®* (AUBIN, 2007).

Um modelo *Revit®* é um arquivo único que contém toda a informação relativa ao edifício e necessária para a equipa de projecto numa base de dados. Tais informações podem ser representações

gráficas - plantas, cortes, elevações, especialidades, etc. – ou legendas e o planeamento associado. Como as alterações feitas a qualquer uma das representações gráficas do modelo, são feitas a um modelo central, uma modificação feita numa das representações do modelo, por exemplo numa planta, é propagada a outras representações do modelo. Garante-se assim que os desenhos *Revit*® estão sempre totalmente coordenados (AUBIN, 2007).

Quando se compartilha um projecto *Revit*®, é criado um ficheiro central que contém a cópia original do banco de dados do projecto, num servidor da rede LAN do escritório. Cada utilizador vai trabalhar numa cópia do arquivo central (conhecido como arquivo local) armazenado na estação de trabalho do utilizador. Os utilizadores em seguida guardam as alterações no ficheiro central, para actualizar este e receber as alterações dos outros utilizadores. O *Revit*® verifica no ficheiro central sempre que um utilizador começa a trabalhar num objecto da base de dados, para ver se outro utilizador está a editar o mesmo objecto. Este procedimento evita que dois utilizadores façam a mesma alteração simultaneamente e evita conflitos. O *Revit*® permite ainda executar uma verificação de colisão, que detecta se diferentes elementos de construção estão a ocupar o mesmo espaço físico (HELLMUTH E KASSABAUM, 2007).

FINALIDADE DA UTILIZAÇÃO

O *Revit*® é uma das ferramentas essenciais no *Building Information Modeling*. A sua função principal é de eliminar redundâncias, ou seja, a existência de vários modelos para cada uma das disciplinas associadas à construção. Actualmente, arquitectos, engenheiros, consultores, empreiteiros gerais e fabricantes criam os seus próprios modelos e bases de dados a partir de informação transmitida numa cadeia de comandos. O BIM vem assim substituir esta abordagem por uma mais centralizada. No caso do *Revit*® os vários modelos criados para cada uma das especialidades (arquitectura, estrutural e mecânica) coexistem num único modelo e base de dados. Está assim garantido que todos os intervenientes têm as informações mais recentes e que não há erros na transmissão dessa informação (AUTODESK, 2007).

DOS “BLOCOS” ÀS “FAMILIAS”

O *Revit*® utiliza o termo “família” para descrever uma definição discreta de uma parte do modelo de construção. Existem diversas categorias de famílias, mas os três tipos principais são: sistemas, componentes e *In-Place Families*. Enquanto outros programas utilizam o termo “bloco” ou “inserir”, o *Revit*® utiliza famílias. Uma família tem aplicados determinados parâmetros, estes vão transmitir ao *Revit*® o que fazer quando esse elemento é inserido. Por exemplo, portas de correr pode ser o nome de uma família. Esta família poderá ter diversos tipos de portas de correr, variando o material, as dimensões, o custo, a cor, entre outros, e o modelo do edifício terá elementos deste tipo colocados nas paredes (AUTODESK, 2007).

II. OS 14 PONTOS DA FILOSOFIA DE DEMING

Os 14 pontos para a gestão descrevem o caminho para a qualidade, devendo este ser continuamente aperfeiçoado. Sendo eles (DEMING, 2007):

1º Ponto – Criar e fazer circular junto de todos os colaboradores uma declaração dos objectivos e intenções da empresa ou organização. A gestão deve mostrar sempre o seu empenho em cumprir a declaração;

2º Ponto – Aprender a nova filosofia, a gestão de topo e todo o resto do pessoal;

3º Ponto – Perceber os objectivos da inspecção, para a melhoria do processo e redução de custos;

4º Ponto – Acabar com a prática corrente de contratar fornecimentos ou serviços tendo somente como base o preço mais baixo;

5º Ponto – Melhoria contínua do sistema de produção e serviço;

6º Ponto – Estabelecer um programa de formação;

7º Ponto – Ensinar e estabelecer liderança;

8º Ponto – Eliminar o medo. Criar confiança. Criar um clima propício à inovação;

9º Ponto – Optimizar os esforços de equipas, grupos e áreas departamentais tendo em vista os objectivos e intenções da companhia;

10º Ponto – Acabar com as ameaças aos trabalhadores;

11º Ponto – (a) Eliminar quotas para produção. Em vez disso, aprender e por em prática métodos que levem à melhoria. (b) Acabar com a Gestão por Objectivos. Em vez disso calcular as capacidades dos processos e estudar os métodos que as permitam melhorar;

12º Ponto – Remover as barreiras que retiram às pessoas o seu orgulho no trabalho;

13º Ponto – Encorajar a educação e a auto-melhoria para todos;

14º Ponto – Agir para conseguir a transformação.

III. GUIÃO DE PERGUNTAS MAIS COMUNS FEITAS AOS TRABALHADORES

Costuma realizar trabalhos nesta infraestrutura, ou é a primeira vez?

- #1 – Não, é a primeira vez que trabalho aqui.
- #3 – Não, nunca tinha realizado um trabalho numa estação.
- #4 – Já, pelo menos 5 vezes.

Quais as maiores dificuldades que sente numa obra com estas características?

- #1 – Falta de informação da localização das coisas.
- #2 – Dificuldade de desmontar os tectos-falsos, para depois chegarmos à conclusão que não era aqui que passava o caminho de cabos.
- #3 – Aceder aos caminhos de cabos.
- #5 – Adivinhar onde se encontram as tubagens com os cabos.

Quais são as grandes dificuldades dos trabalhos de manutenção?

- #1 – Prever o tempo que vão demorar.
- #2 – Quando o espaço a intervencionar é novo, a falta de informação de suporte, plantas e desenhos.

O que poderia ajudar neste tipo de trabalhos?

- #1 – Maior acompanhamento pelo dono de obra.

Por que razão não solicitam desenhos e plantas da infraestrutura?

- #1 – Não vale a pena!
- #2 – São muito complicados de ler.
- #3 – Não dão jeito em obra, e a maior parte das vezes estão muito desactualizados.

O que acha que melhora com uma visualização 3D do espaço a intervir? O modelo foi útil?

- #1 – O modelo foi como um mapa 3D do que não estava à vista, durante o decorrer dos trabalhos.
- #2 – O modelo permitiu poupar tempo na obra, porque evitou erros e redundâncias nos trabalhos. Nós sabíamos exactamente os problemas com que nos iríamos confrontar, podendo assim evitar e agilizar alguns deles. Permite realmente poupar tempo.

#3 – Muitos esforços de coordenação serão resolvidos na cabeça das pessoas antes de chegarem ao local de trabalho...não há duvida que isso irá poupar tempo. No caso desta obra permitiu-nos coordenar os trabalhos com a outra equipa, evitando assim a abertura de alguns tectos-falsos comuns.

Um planeamento das actividades no seu ponto de vista traria mais valias?

#1 – Nesta dimensão dos trabalhos não, penso que não é necessário.

#2 – Claro que sim, ira ajudar na nossa coordenação com a outra equipa e a equipa de manutenção, podendo agilizar tempos de espera que têm vindo a ocorrer.

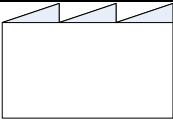
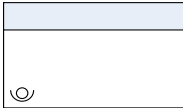
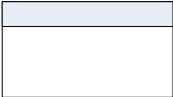
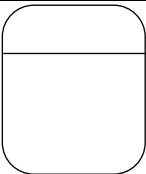



#4 – Sim, iria aumentar a minha visão global dos trabalhos a realizar.

É comum as equipas ajudarem-se?

#1 – Não é comum.

#2 – Quando há tempo, penso que sim, mas na maior parte dos casos isto é tudo feito a correr, nem tempo temos para nós.

IV. ÍCONES UTILIZADOS NO MAPEAMENTO DE FLUXO E VALOR

| Ícone | Significado | Nota |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Fontes Externas | Utilizado para representar Empreiteiros |
|  | Processo de Produção | Os processos devem ser identificados |
|  | Controlo de Produção | |
|  | Recursos | |
|  | Movimento em produção “empurrada” | Material produzido na actividade de montante e “empurrado” para a actividade de jusante |
|  | Movimento em produção “puxada” | Material produzido na actividade a jusante “puxada” da actividade montante |
|  | Fluxo de informação manual | |

(Nuno, 2011) adaptado Deffense, 2010

V. VSM DO ESTADO ACTUAL DO PROCESSO